بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة آل البيت

كلية العلوم – قسم الفيزياء

خصائص القطع الناقص للأغشية الرقيقة من بوليمربولي ميثيل ميثاكريليت (PMMA)

Ellipsometric Properties of Poly Methyl Methacrylate (PMMA) Thin Films

إعداد الطالبة:

خوله أحمد غازي عويدات

الرقم الجامعي: 0620402002

باشراف الدكتور:

حسام محمود الناصر

أيار – 2009

رسالة ماجستير بعنوان:

خصائص القطع الناقص للأغشية الرقيقة من بوليمر بولي ميثيل ميثاكريليت (PMMA)

Ellipsometric Properties of Poly Methyl Methacrylate (PMMA)

إعداد الطالبة:

خـولة أحمد غازي عويدات

الرقم الجامعي:

0620402002

باشراف الدكتور:

حسام محمود الناصر

أعضاء لجنة المناقشة		التوقيع
د. حسام محمود الناصر	(رئيساً ومشرفاً)	....
أ.د. عقاب محمود ربيع	(عـضـواً)	....
د. إبراهيم عزيز بصول	(عـضـواً)	....
د. أحمد علي حسين العمري	(عـضـواً)	....

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في الفيزياء من كلية العلوم في جامعة آل البيت/ الأردن.

نوقشت وأوصي بإجازتها بتاريخ ٢٠٠٩/٥/٢٧

الإهـــــداء

إلى من أوقف سفينة عمره ليعبر قاربي الصغير. . . . . أبي

وإلى من نسجت من خيوط الدعاء رداء الحنان. . . . . . . أمي

إلى مـــن كـــانوا لـــي العـــضد والـــسند وكلمـــا أقفـــر الطريـــق اســـتحالت كلماتهم خيوط الشمس لا تغيب عن ناظري إخواني وأخواتي. .

إلى مـــشرفي وأســـاتذتي الـــذين أحـــاطوني بالرعايـــة والتوجيـــه، فـــأثمر غرســـهم بـــإذن االله، وأثـــرى ســـعيهم رســـالتي هـــذه إلـــيهم باقـــات مـــن ورود الإكبار ورياحين الشكر والعرفان. .

الشكر والتقدير

أتقدم بجزيل الشكر والتقدير والعرفان للدكتور حسام الناصر الذي قام بالاشراف وتقديم النصائح المهمة لاتمام العمل على ما هو عليه.

وأتقدم بالشكر لقسم الكيمياء ومعهد علوم الارض والبيئة في جامعة آل البيت على ما قدموه من تسهيلات ساهمت في إتمام العمل.

كما ونشكر قسم علوم الأرض والبيئة في جامعة اليرموك لمساهمتم في أتمام هذا العمل.

ولكل من ساهم في اتمام وانجاز هذا العمل.

قائمة المحتويات

قائمة الرموز

الرمز	الوصف
PMMA	Poly Methyl Methacrylate
MMA	Methyl Methacrylate
MSE	Mean Square Error
VASE	Variable Angle Spectroscopic Ellipsometry
φ_I	زاوية السقوط
φ_B	زاوية بروستر
$\tilde{N}$	معامل الانكسار المعقد
n	معامل الانكسار
k	معامل الانطفاء
$\vec{E}$	المجال الكهربائي
$\vec{H}$	المجال المغناطيسي
$\vec{B}$	الحث المغناطيسي
$\vec{D}$	الإزاحة الكهربائية
μ_o	نفاذية الفراغ
ε_o	سماحية الفراغ
$\tilde{\xi}$	اقتران العزل للوسط العازل
α	معامل الامتصاص
λ	الطول الموجي للضوء
w	التردد الزاوي للضوء
E_p	مركبة المجال الكهربائي الموازية لمستوى السقوط
E_s	مركبة المجال الكهربائي العمودية لمستوى السقوط

الرمز	الوصف
r_p	معامل فرنل للانعكاس في حالة الاستقطاب الموازي
r_s	معامل فرنل للانعكاس في حالة الاستقطاب العمودي
t_p	معامل فرنل للنفاذ في حالة الاستقطاب الموازي
t_s	معامل فرنل للنفاذ في حالة الاستقطاب العمودي
ρ	معامل القطع الناقص
$\tan \Psi$	معامل الانعكاسية للمركبة الموازية والعمودية للموجة المستقطبة
Δ	فرق الطور بين معاملات فرنل الانعكاسية للمركبات الموازية والعمودية للموجة المستقطبة
c	سرعة الضوء
γ	معامل الإخماد
f	التردد
A	المتغير الأول
B	المتغير الثاني
C	المتغير الثالث

<u>قائمة الجداول</u>

قائمة الأشكال

الملخص

تتناول هذه الرسالة دراسة الخصائص البصرية من حيث إعتماد معامل الإنكسار على الطول الموجي للأغشية الرقيقة المكوّنة من بوليمر البولي ميثيل ميثاكريليت المذاب في التولوين بنسب وزنية مختلفة باستخدام مطيافية القطع الناقص، كذلك تتناول الدراسة اعتماد بنية الأغشية الرقيقة المحضرة بهذه التراكيز بعد شويها إلى درجة حرارة 140 درجة مئوية.

أظهرت الدراسة بأن سمك الأغشية المحضرة يتزايد باضطراد بازدياد نسبة البوليمر في المذيب، وبينت أن زوايا بروستر للأغشية المحضرة متساوية لجميع العينات عند طول موجي مقداره 550 نانوميتر، بينما نلمس تغيراً في هذه الزوايا عند التعبير عنها من خلال المعامل الناقصي Δ كون أن هذا المعامل مرتبط في التغير في الطور، وهذا يعكس مدى دقة وحساسية تقنية مطيافية القطع الناقص في القياس.

أظهرت الدراسة كذلك بأن الأغشية الأكثر سمكاً معرضة لتركيبة طبقية متدرجة تجعل من معامل الإنكسار عند منطقة الطبقة الساندة مختلفاً إلى حد ما عن معامل الإنكسار للسطح العلوي للغشاء، كما أن هذه التركيبة الطبقية معرضة للتغير نتيجة تسخين العينات على درجة حرارة 140 درجة مئوية.

الفصل الأول

(1-1) المقدمة: Introduction

تمتلك دراسة الخواص الفيزيائية مرتبة هامة بالنسبة لمجالات البحث العلمي في قطاعات متعددة للأغشية الرقيقة (Thin Films) مثل فيزياء الأسطح، الإلكترونيات البصرية، تكنولوجيا النانو وهي مجالات تُعنى بتحري خصائص المواد البصرية والكهربائية والتركيبية لأغشية رقيقة تقدر بالنانوميتر، إذ تظهر جزيئات المواد عند تلك المقاييس بخصائص غير عادية، بحيث من الممكن تصنيع مواد وتشكيلها للحصول على خصائص أفضل من خصائص هذه المواد لدى تـــصنيعها عند مقياس أكبر، وتعرف الأغشية الرقيقة على أنها مواد ثنائية الأبعاد (Two Dimensional Material) ذات تركيب صفائحي (Laminar Structure) متصلة مرسبة على طبقة داعمـــة (Supported Plate) تسمى الطبقة الأساس (Substrate)، حيث استقطبت اهتمام العلماء منذ أوائل التسعينات على الرغم كونها قديمة العهد حيث حضر أول غشاء رقيق عام 1857م علـــى يد العالم فإرادي (Faraday) وذلك لامتلاكها خصائص فيزيائية بصرية، مغناطيسية، وكهربائية ذات أهمية كبيرة ومتزايدة في التطبيقات الصناعية والتكنولوجية مثل: المرشـــحات البـــصرية (Optical Filters)، المرايا والـــدارات الالكترونيـــة المتكاملـــة (Integrated Electronic Circuits) والأجهزة الالكترونية الطبية (Kunz et al.1988) بالإضـــافة إلـــى النوافـــذ ذات الانبعاث المـــنخفض (Low-Emittance Windows) والخلايـــا الشمـــسية (Solar Cells) (Aranda et al .1984).

اتجهت دراسات العلماء نحو البحث عن أغشية رقيقة مكونة من مواد تمتلك خصائص فيزيائيـــة وكيميائية كبوليمرات تمتاز بسهولة التصنيع وقدرتها على مقاومة الظروف المحيطة وامتلاكهـــا خصائص بصرية واعدة، وأفضلها بوليمر البولي ميثيل ميثاكريليت (PMMA) ذو وزن جزئي

معتدل نسبيا يذاب في محاليل قطبية معتدلة كالتولوين، لما له من مميزات كثيرة منها الــشفافية العالية للضوء المرئي، القساوة، الخفة، تحمل الصدمات كما ويمتاز بخصائص ميكانيكية مثــل مقاومته للكسر وسهولة القولبة والتشكل.

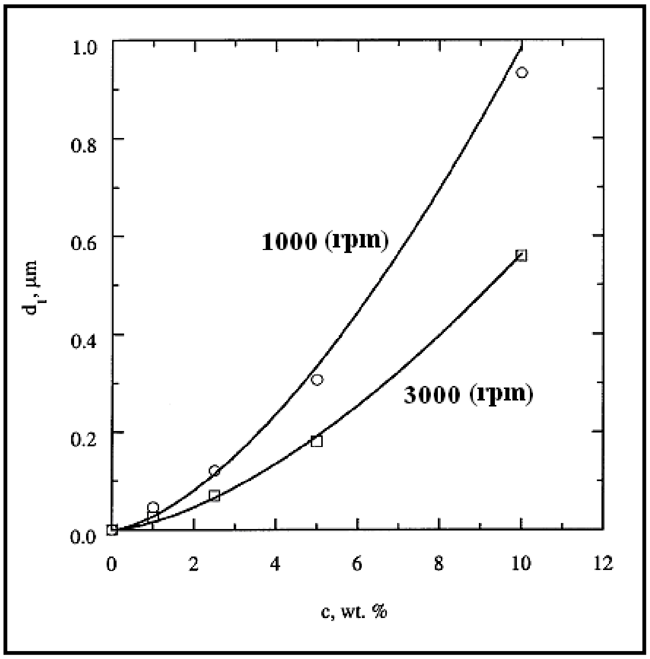
ان الهدف الرئيسي في هذه الرسالة هو تحضير الأغشية الرقيقة من بوليمر بولي ميثيــل ميثــا كريليت (PMMA) المذابة في محاليل التولوين بتراكيز مختلفة ، ودراسة الخصائص البصرية لهذه الاغشية المحضرة مستخدما تقنية مطيافية القطع الناقصي متغيــر الزاويـــة (Variable Angle Spectroscopic Ellipsometry) الذي يكتب باختصار (VASE)، حيث تم اختيار التولوين كمادة مذيبة حيث من الشائع استخدام الكلوروفورم، لان سرعة التبخر للتولــوين اقــل بسبع مرات من الكلوروفورم حيث وجد من دراســات ســابقة (Walsh, 2003)، (Walsh, 1999) بأن أرق الأغشية وأعلاها جودة هي المحضرة من التولوين.

<u>(2-1) الدراسات السابقة:</u>

تقوم منهجية البحث بضرورة الاستطلاع ،التحري والتقصي للدراسات الــسابقة التــي تخــتص بموضوع البحث، فإن رسالتنا تقوم على هذا النهج حيث سنقدم أهم الدراسات السابقة التي تتعلق بالخصائص البصرية للأغشية الرقيقة للبوليمر البولي ميثيل ميثاكريليت(PMMA) المحــضرة بتراكيز مختلفة من التولوين والتي ستعرض على الشكل التالي:

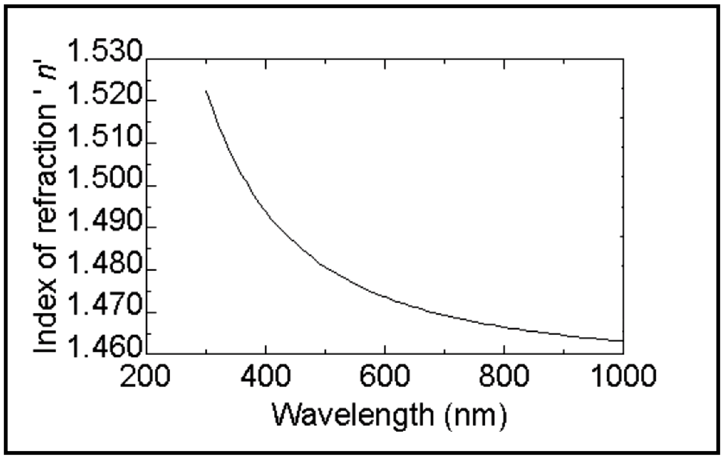
1. درس الباحثان (Walsh and Elias, 2003) الخصائص البصرية لأغشية رقيقة لبوليمر (PMMA) المذابة في محاليل التولوين مستخدمان مطيافية القطع الناقص وجهــاز الطلــي بالبرم وتبين لهما أن الأغشية الرقيقة المصنعة من التولوين هي الأرق سمكا والأكثر جودة من الأغشية المصنعة بالكلورفورم لأن التولوين أقل تبخراً من الكلوروفورم مما أدى إلـــى الاحتفاظ بالسائل لفترة أطول على رقائق السيلكون، وكان هذا الاستنتاج مبني على مقارنـــة

عينات لها نفس التراكيز ونفس سرعة الدوران للجهاز، كما وتبين لهما إن زيـــادة ســـرعة الدوران للجهاز الطلي يقلل من سمك الغشاء الرقيق وبالتالي يزداد معامل الانكسار للغشاء ، ويوضح الشكل (1-1) العلاقة بين التركيز والسمك للغشاء عند سرعتين مختلفتين لجهـــاز الطلي بالبرم .



الشكل (1-1) العلاقة بين تركيز الاغشية المحضرة وسمكها على رقائق السليكون بسرعتين مخلفتين

2. قام الباحثان (Al Attar and Taqatq, 2006) مستخدمان جهاز القطع الناقص متغيـــر الزاوية (VASE) بدراسة الثوابت البصرية للبوليمر البولي ميثيل مبثاكريليت (PMMA) مستخدما نموذج كوشي للتشتت في إجراء عملية المطابقة (Fitting) للنتائج المقاسة ، فتبين لهما أن البوليمر (PMMA) يمتلك ثوابت بصرية جيدة ، حيث يصبح معامل الامتـــصاص (Absorption Coefficient) مقارب للصفر في منطقة الطيف المرئي ،والـــشكل التـــالي يوضح قيم معامل الانكسار لبوليمر (PMMA) في منطقة الطيف المرئـــي التـــي حـــددت باستخدام نموذج كوشي.



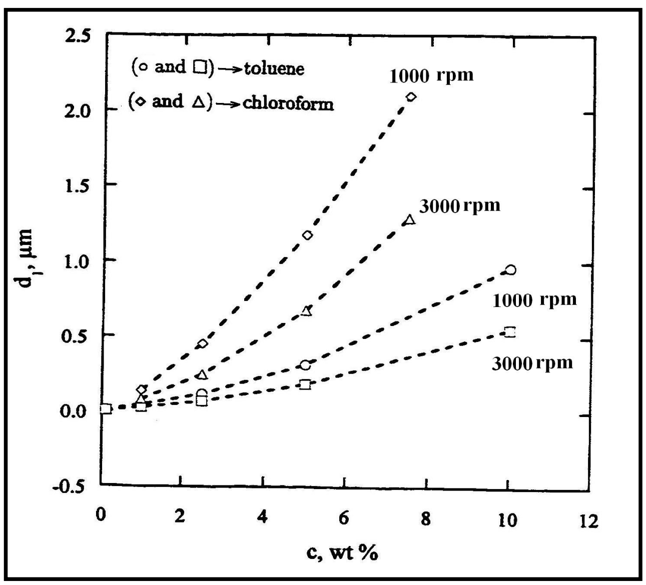
الشكل (1-2) يوضح معامل الانكسار لبوليمر (PMMA)

3. درس الباحثان (Al Attar and Taqatq, 2003) الخصائص البصرية لأغشية رقيقة لبوليمر ميثيل ميثاكريليت (PMMA) المطعم بصبغة الآزو وبادئ ضوئي محضرة بطريقة الطلي بالبرم (Spin-coating) وتبين لهما أن الخصائص البصرية لهذه الأغشية تتغير تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية (UV-Irradiation) وفي دراستهما استخدما نظرية ماكسويل–غارنيت لنمذجة النتائج التجريبية.

4. قام الباحثون (El Nasser et al. 2006) دراسة الخصائص البصرية للأغشية الرقيقة مكونة من بوليمر (PMMA) المطعم بصبغة الميثيل الأحمر تحت تأثير تغير درجة حموضة الميثيل الأحمر المذاب ، وتبني لهم من خلال نمذجة الأغشية الرقيقة للصبغة وللخليط بواسطة نموذجي لورنتز وتقريب الوسط المؤثر لبروغمان أن بعض الخطوط الطيفية لطيف الامتصاص لعينات الدراسة يمكن التحكم بها وذلك عند ملاحظة إزاحاتها الطيفية كاستجابة تتغير لدرجة الحموضة.

5. قام الباحثان (Walsh and Elias, 1999) بتحضير أغشية عضوية رقيقة(Thin Organic Films) من بوليمر البولي ميثيل ميثاكريليت (PMMA) المحضرة بطريقة الطلي بالبرم على السرعتين rpm(1000,3000) من محاليل التولوين بتراكيز مختلفة ، ودراسة مطيافية الأشعة تحت الحمراء مستخدما جهاز القطع الناقص (Ellipsometry)،

حيث حددا السمك (Thickness)، معامل الانكسار (Reflective Index) ونوعية الفيلم (Film Quality) للغشاء الرقيق بآخذه زاويتين السقوط (60,70) عند طول موجي واحد (λ= 6328 A) ،وتم تحضير هذه الأغشية الرقيقة على درجة حرارة (23^o) ومن ثم تعريضها لدرجة حرارة (140^o) بوضعها بالفرن لمدة ساعة واحدة، فتبين لهما إن الأغشية الرقيقة المحضرة من محاليل التولوين هي الأرق سمكا، الأعلى تجانس والأفضل جودة من الأغشية الرقيقة المحضرة من الكلوروفورم بسبب التبخر البطيء للتولوين وبالتالي فان الزوجة للمحاليل التولوين ترتفع بشكل بطيء مقارنة مع المحاليل الكلوروفورم ، ويبين الشكل (3-1) العلاقة بين سمك الأغشية المحضرة من التولوين والكلوروفورم والتركيز لهذه الأغشية على سرعتين rpm(1000,3000)، حيث نلاحظ من الشكل أن الأغشية الرقيقة المصنعة من التولوين لكلا السرعتين هي الأقل سمكاً من الأغشية الرقيقة المحضرة من الكلوروفورم لنفس السرعتين.



الشكل (3-1) العلاقة بين السمك والتركيز في أغشية عضوية رقيقة للمذيبين التولوين والكلوروفورم

(3-1) المسائل التي تعالجها الرسالة:

تتمثل المسالة التي تعالجها الرسالة في دراسة الخصائص البصرية للأغشية الرقيقة مصنعة من بوليمر الميثيل ميثاكريليت المذابة في محاليل التولوين بتراكيز مختلفة، وذلك من خلال تحليل سلوك المعاملات البصرية لهذه الأغشية،واعتماد معامل الانكسار (Refractive Index) على مدى واسع من الأطوال الموجية بين 1000-300 نانوميتر مستخدما تقنية مطيافية القطع الناقص متغير الزاوية (VASE) ,ودراسة اثر درجة الحرارة على تركيب الأغشية المحضرة بتراكيز مختلفة.

كما تهدف هذه الرسالة إلى دراسة تغير تركيز البوليمر في المذيب وأثره في تغير الثوابت البصرية للأغشية الرقيقة المصنعة من بوليمر الميثيل ميثاكريليت المحضرة بطريقة الطلي بالبرم (Spin- Coating) كما تعالج الرسالة تحري الخصائص البنيوية لهذه الأغشية الرقيقة مستخدما تقنية المجهر الماسح الالكتروني (SEM).

(1-4) الخطوط العريضة لمحتويات الرسالة:

تقسم هذه الرسالة إلى أربع فصول، حيث تضمنت على الفصل الأول الذي شمل المقدمة وأهم الدراسات السابقة، وسيقدم الفصل الثاني الأسس النظرية التي تقوم عليها مطيافية القطع الناقص من خلال اشتقاق معاملات فرنل و التطرق إلى الخواص البصرية الناتجة عن تفاعل ضوء مع المادة ، وتضمن الفصل الثالث التجربة والقياس حيث يعرض فيه تعريف بالمواد المستخدمة وكيفية تحضير الأغشية الرقيقة والعينات المستخدمة وشرح عن الأجهزة المستخدمة في اخذ القياسات، وأخيراً الفصل الرابع الذي يتناول أهم النتائج المتعلقة بالخواص البصرية للأغشية الرقيقة من بوليمر ميثيل ميثاكريليت المذابة في محاليل التولوين بتراكيز مختلفة على طبقة ساندة من الزجاج وسيتم عرض أهم الاستنتاجات المتعلقة بهذه الدراسة.

الفصل الثاني

الأسس النظرية Theoretical Bases

(1-2) المقدمة Introduction:

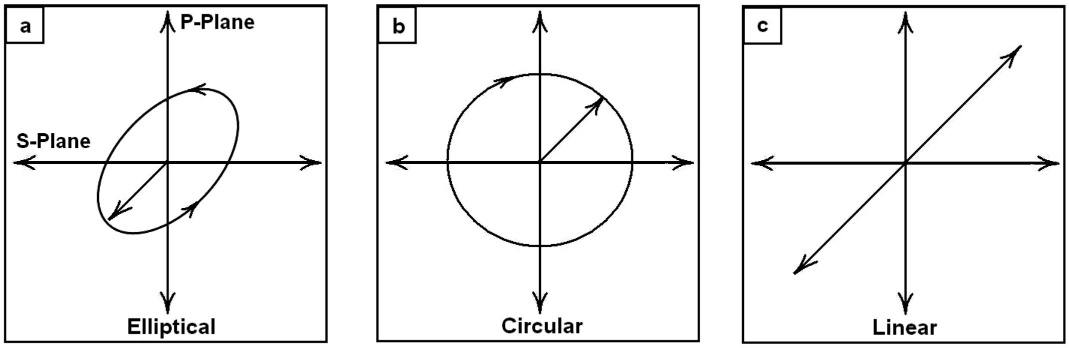
يعرض هذا الفصل الأسس النظرية التي تستخدمها مطيافية القطع الناقص التي تقوم على مبـــدأ قياس التغير في حالة الاستقطاب للضوء المنعكس عن سطح العينة تحت الدراسة، وذلك لأهميتها في دراسة الخصائص البصرية للمواد نتيجة التفاعل الحاصل بين المواد والضوء الساقط علـــى سطح العينة محدثاً عدداً مـــن الظـــواهر الـــضوئية مثـــل الانعكـــاس Reflection والنفاذيـــة Transmission والامتصاص Absorption والاستقطاب Polarization.

(2-2) الاستقطاب Polarization:

يحدث الاستقطاب للموجات الكهرومغناطيسية وهي موجات مستعرضة تتألف من مركبة المجال الكهربائي ومركبة معامدة لها وتسمى بالمركبة المجال المغناطيسي وهما متجهان يتعامدان مـــع اتجاه انتشار الموجة (Propagation) حيث يحدد كل منهما الآخر، سنهتم في رسالتنا بالمركبة المتجه الكهربائي وذلك لدورها في تحديد حالة الاستقطاب (Polarization) للأمواج الـــضوئية حيث أن القوة المؤثرة على الإلكترونات بفعل المجال الكهربائي أكبر بكثير من القوة المـــؤثرة بفعل المجال المغناطيسي (Azzam and Bashara. 1977).

تسمى عملية تحويل الضوء غير مستقطب إلى ضوء مستقطب بالاســـتقطاب (Polarization)، والوسيلة الأكثر شيوعاً لأحداث الاستقطاب هو استخدام الفلتر (Polaroid Filter) مصنعة من مادة خاصة ذات تركيب كيميائي قادر على إحداث ضوء مستقطب، فتنوعت طرق الاستقطاب، فمنها الاستقطاب بالنفاذيـــة (Polarization by Transmission)، الاســـتقطاب بالانعكاســـية

(Polarization by Reflection)، الاستقطاب بالانكسار (Polarization by Refraction)، والاستقطاب بالتشتت (Polarization by Scattering).



الشكل (2-1) حالات الاستقطاب

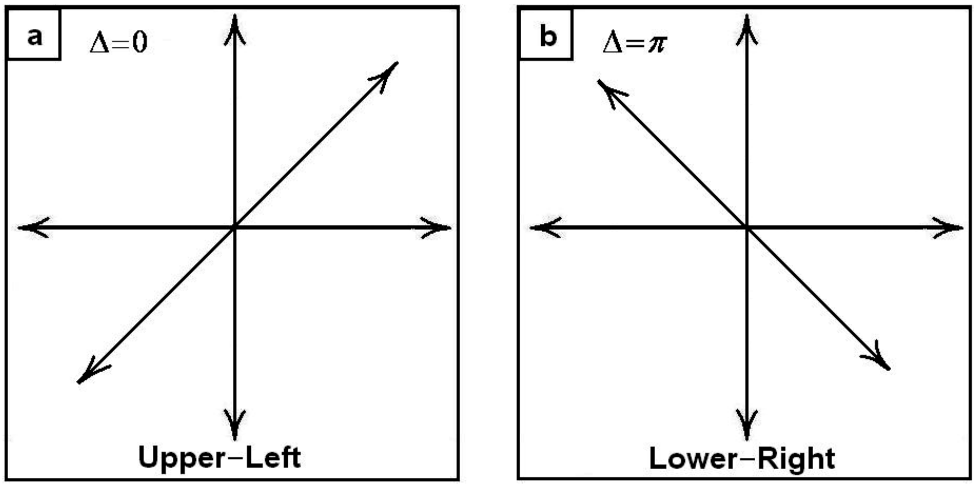
من الشكل (2-1) نلاحظ أن للضوء المستقطب ثلاث حالات، الحالة الأولى تمثل الاستقطاب الناقص (Elliptic Polarization) يمثل الاستقطاب الأكثر عموماً لموجات الضوء أحادية اللون (Monochromatic)، بحيث يتعرض شدة (Intensity) المجال الكهربائي إلى تغيرات على طول المسار المنحني للقطع الناقص في مستوى معامد للاتجاه انتشار الموجة، وتكتب معادلة الموجة لهذا الاستقطاب للقطع الناقص لطور $\Delta = 2\pi$ وزاوية السقوط $\varphi = \frac{\pi}{4}$ كما يلي:

$$\left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right)^2 - \frac{2E_x E_y}{E_{ox} E_{oy}} \cos\Delta = \sin^2\Delta \qquad (1\text{-}2)$$

الحالتين التاليتين تمثلان حالات خاصة من حالة الاستقطاب للقطع الناقص، ألا وهي الاستقطاب الخطي (Linearly Polarization) بحيث يكون اتجاه المجال الكهربائي المستقطب في اتجاه واحد لا يتغير مع الزمن، وفرق الطور $\Delta = o, \pi$ وعليه تكتب معادلة الاستقطاب الخطي ممثلة بمعادلة الخط المستقيم كالتالي:

$$\frac{E_x}{E_{ox}} = \pm \frac{E_y}{E_{oy}} \qquad (2\text{-}2)$$

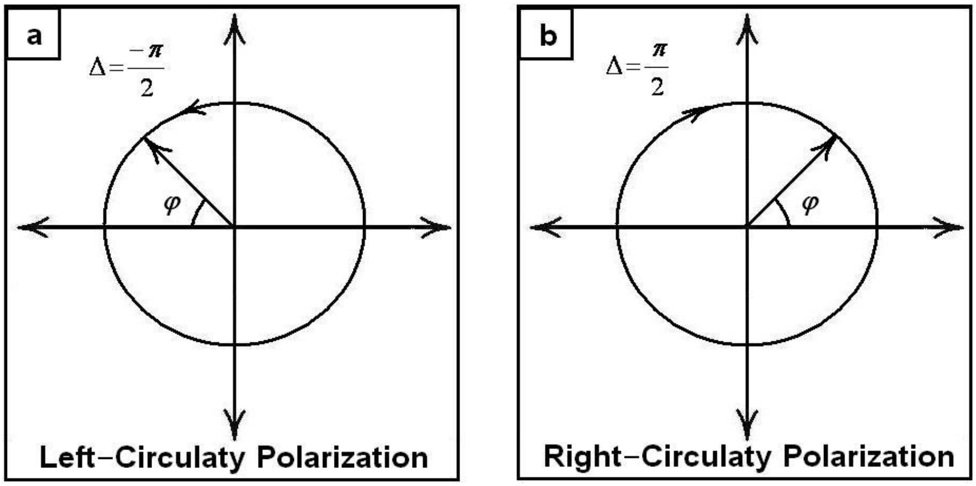
ويبين الشكل (2-2) أشكال ليساجوس (Lissajous Figures) لحالة الاستقطاب الخطي لطورين مختلفين.



الشكل (2-2) أشكال ليساجوس لحالة الاستقطاب الخطي لطورين مختلفين

والاستقطاب الدائري (Circular Polarization) بحيث يكون اتجاه الضوء يتغير بسرعة مع الزمن، وفرق الطور ($\Delta = \frac{\pi}{2}$) وزاوية السقوط ($\varphi = \frac{\pi}{4}$) وعليه حركة المتجه للمركبة الكهربائية مع عقارب الساعة (Clockwise) ويسمى هذا بالاستقطاب الدائري لليمين (Right-Circularly Polarization) وعندما يكون ($\Delta = \frac{-\pi}{2}$) و ($\varphi = \frac{\pi}{4}$) تكون حركة المتجه للمركبة الكهربائية عكس عقارب الساعة (Counterclockwise) ويسمى هنا بالاستقطاب الدائري لليسار (Left-Circularly Polarization) كما هو موضح بشكل (3-2) أشكال ليساجوس (Lissajous Figures) للاستقطاب الدائري للطورين $\Delta = \pm\frac{\pi}{2}$ وتكتب معادلة الاستقطاب الدائري لهذه الأشكال على النحو التالي:

$$\left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right)^2 = 1 \qquad (3\text{-}2)$$

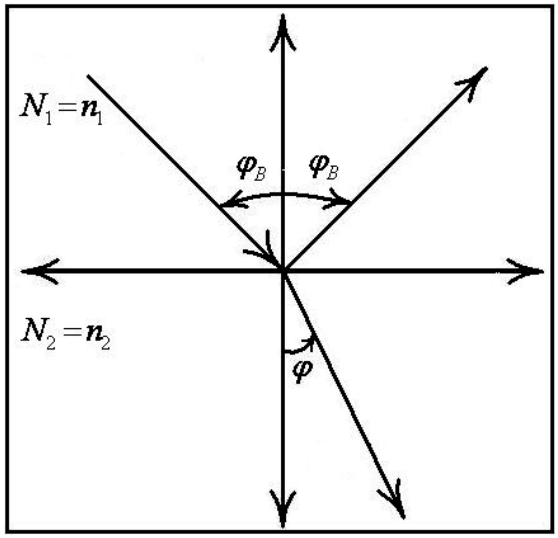


الشكل (2-3) أشكال ليساجوس للاستقطاب الدائري

(2-3) زاوية بروستر Brewster's Angle:

تعرف بزاوية الاستقطاب (Polarization Angle) وهي زاوية السقوط التي يكون عندها الشعاع المنعكس مستقطب استقطاباً كاملاً في حالة يكون المجال الكهربائي موازي لمستوى السقوط أي في حالة الاستقطاب الموازي (P-Polarization) وسميت بهذا الاسم نسبة للعالم (Sir David Brewster) لعام (1781-1868)م.

تحدث زاوية بروستر بين وسطين شفافين بحيث تكون ($N_1 = n_1, N_2 = n_2$) كما هو مبين في الشكل (2-4)، فعند زيادة زاوية السقوط ينعكس الجزء الأكبر من الضوء في حالة الاستقطاب العمودي (S-Polarization) وينفذ الجزء الأكبر من الضوء في اتجاه المركبة الكهربائية الموازية لمستوى السقوط أي في حالة الاستقطاب الموازي (P-Polarization)، وتستمر الانعكاسية للمركبة الكهربائية العمودية (E_s) وتناقص الانعكاسية للمركبة الكهربائية الموازية (E_p) مع زيادة زاوية السقوط، حتى يصبح الشعاعين المنكسر والمنعكس متعامدين، وبذلك يصبح جميع الضوء المنعكس ضوء مستقطب استقطاباً خطياً (Linearly Polarization) في الاتجاه العمودي للمركبة الكهربائية (E_s) ولا ينعكس أي جزء منه في المركبة (E_s).



الشكل (2-4) زاوية بروستر

لإيجاد زاوية بروستر معتمداً على الشكل (2-4) قمنا بما يلي:

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 90$$

حيث φ_1 – زاوية السقوط Incident Angle

φ_2 – زاوية الانعكاس Reflection Angle

ومن الرسم نجد أن: $\varphi_1 = \varphi_B$

وبتطبيق قانون سنل (Snell law) نجد أن:

$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$$

$$n_1 \sin \varphi_B = n_2 \sin (90 - \varphi_B)$$
$$n_1 \sin \varphi_B = n_2 \cos \varphi_B$$

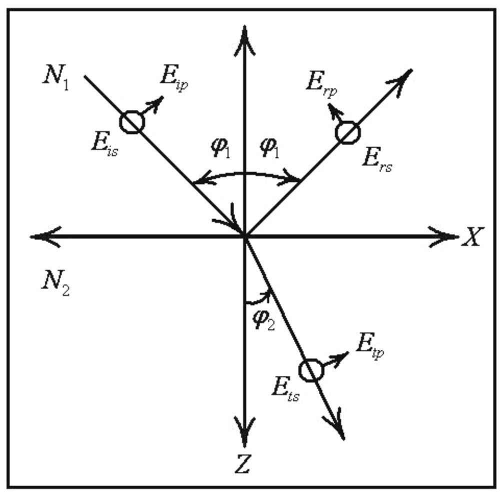
$$\varphi_B = arc \tan \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \qquad (4\text{-}2)$$

المعادلة (2-4) تمثل العلاقة بين زاوية بروستر ومعامل الانكسار الوسط

(4-2) معاملات فرنل The Fresenl Coefficient

باعتبار الضوء موجة كهرومغناطيسية تصف معاملات فرنل النسبة بين الطاقة الساقطة للموجة وكل من الطاقة المنعكسة والنافذة حيث تعتمد هذه المعاملات على التغير الحاصل في معامل الانكسار وزاوية السقوط على السطح (Pedrotti, 1993).

لإيجاد معاملات الانعكاس (Reflection Coefficient) ومعاملات النفاذ (Transmission Coefficient) نطبق الشروط الحدودية (BC. Boundary Condition) على السطح يفصل بين سطحين متجانسين موحدي الخواص كما هو مبين في الشكل (2-5) والتي يمكن ذكرها على النحو التالي:



الشكل (2-5) الانعكاس والنفاذ لسطح يفصل بين سطحين متجانسين موحدي الخواص

١- يقع اتجاه انتشار الموجات الساقطة والمنعكسة والنافذة جميعها في مستوى واحد يسمى بمستوى السقوط (Plane of Incident).

٢- نستخدم قانون سنل لوصف زوايا الموجة النافذة والمنعكسة المعطى بالعلاقة التالية:

$$N_1 \sin \varphi_1 = N_2 \sin \varphi_2 \qquad (5\text{-}2)$$

٣- المركبات المماسية عند السطح الفاصل (Tangential Components) لكل من المجـــالين الكهربائي ($\vec{E}$) والمغناطيسي ($\vec{H}$) يجب أن تكون متصلة حيث أن:

$$E_{1t}=E_{2t} \ \ and \ \ H_{1t}=H_{2t}$$

٤- المركبات العمودية عند السطح الفاصـــل (Normal Components) لكـــل مـــن الحـــث المغناطيسي ($\vec{B}$) وإزاحة مجال الكهربائي ($\vec{D}$) يجب أن تكون متصلة حيث أن:

$$D_{1n}=D_{2n} \ \ and \ \ B_{1n}=B_{2n}$$

تأخذ مركبة المجال الكهربائي اتجاهين (Two direction)، الاتجاه الأول تكون فيـــه مركبـــة مجال الكهربائي $\vec{E}$ عمودية على مستوى السقوط وفي هذه الحالة يسمى بالاستقطاب العمـــودي (S-Polarization)، ومن الشكل (2-5) نجد أن E_{is}, E_{rs} and E_{ts} تمثل الـــسعات للموجـــات الساقطة، المنعكسة والنافذة على التوالي، وبتطبيق الشروط الحدوديـــة الـــسابق ذكرهـــا، نجـــد المعادلتين التاليتين:

$$E_{is}+E_{rs}=E_{ts} \qquad (6\text{-}2)$$

$$N_1\cos\varphi_1\left(E_{is}-E_{rs}\right)=N_2\cos\varphi_2\,E_{ts} \qquad (7\text{-}2)$$

وبدمج المعادلتين (2-6) و(2-7) وبعد إجراء بعض الحسابات نحصل علـــى معـــاملات فرنـــل للانعكاس والنفاذ في حالة الاستقطاب العمودي (S-Polarization) الموضحتين في المعـــادلتين التاليتين:

$$r_s=\frac{E_{rs}}{E_{is}}=\frac{N_1\cos\varphi_1-N_2\cos\varphi_2}{N_1\cos\varphi_1+N_2\cos\varphi_2} \qquad (8\text{-}2)$$

$$t_s=\frac{E_{ts}}{E_{is}}=\frac{2N_1\cos\varphi_1}{N_1\cos\varphi_1+N_2\cos\varphi_2} \qquad (9\text{-}2)$$

وبتعويض قانون سنل (Snell law) في المعادلتين (2-8) و(2-9) واستخدام بعض المتطابقات المثلثية (Harland and Eugene. 2005) تكتب معاملات فرنل بصورة أخرى:

$$r_s = \frac{\sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{\sin(\varphi_2 + \varphi_1)} = \frac{N_1 \cos\varphi_1 - \sqrt{N_2^{\,2} - N_1^{\,2}\sin^2\varphi_1}}{N_1 \cos\varphi_1 + \sqrt{N_2^{\,2} - N_1^{\,2}\sin^2\varphi_1}}$$

$$\equiv \tan\Psi_s \exp(i\Delta_s) \rightarrow \qquad (10\text{-}2)$$

$$t_s = \frac{2\sin\varphi_2 \cos\varphi_1}{\sin(\varphi_2 + \varphi_1)} \rightarrow \qquad (11\text{-}2)$$

من المعادلة (2-10) تم التعبير عن معامل الانعكاس (Reflection Coefficient) في حالـــة الاستقطاب العمودي (S-Polarization) مستخدماً زاويتين السقوط وهما (Ψ_s, Δ_s) حيث تمثل ($\tan\Psi_s$) النسبة بين السعات المنعكسة والساقطة للمجال الكهربـــائي فـــي حالـــة الاســـتقطاب العامودي (S-Polarization) و(Δ_s) تمثل فرق الطور في حالة الاستقطاب العامودي.

الاتجاه الثاني تكون فيه مركبة المجال الكهربائي موازية للمستوى السقوط وهذه الحالة تـــسمى الاستقطاب الموازي (P-Polarization) وباتباع الخطوات السابقة في الاستقطاب العمودي (S-Polarization) نحصل على المعادلتين التاليتين:

$$H_{ip} + H_{rp} = H_{tp} \qquad (12\text{-}2)$$

$$N_2 \cos\varphi_1 (H_{ip} - H_{rp}) = N_1 \cos\varphi_2 H_{tp} \qquad (13\text{-}2)$$

حيث تمثل H_{ip}, H_{rp} and H_{tp} السعات للموجات الساقطة، المنعكسة والنافذة للمجال المغناطيسي.

يترابط المجال الكهربائي بالمجال المغناطيسي بالعلاقة التالية:

$$\vec{H} = -\left(\vec{K} \times \vec{E}\right) / \mu_o w \qquad (14\text{-}2)$$

ومن العلاقة (2-14) نستطيع كتابة مركبات المجال الكهربـــائي E_z, E_y, E_x بدلالـــة مركبـــات المجال المغناطيسي H_z, H_y, H_x كما هو مبين في المعادلة التالية:

$$H_x = \frac{K_z E_y}{\mu_o w},\; H_y = \frac{K_x E_z - K_z E_x}{\mu_o w},\; H_z = \frac{-K_x E_y}{\mu_o w} \qquad (15\text{-}2)$$

لإيجاد معاملات فرنل للانعكاس والنفاذ في حالة الاستقطاب الموازي (P-Polarization) والتي تمثل النسبة بين شدة المجال الكهربائي E_{tp}, E_{rp}, E_{ip} للموجات الـــساقطة، المنعكـــسة والنافـــذة وباستخدام المعادلات السابقة نجد العلاقات التالية:

$$r_p \equiv \frac{E_{rp}}{E_{ip}} = \frac{E_{xr}}{E_{xi}} = \frac{-E_{zr}}{E_{zi}} = \frac{-H_{rp}}{H_{ip}} \quad \rightarrow \qquad (16\text{-}2)$$

$$t_p \equiv \frac{E_{tp}}{E_{ip}} = \frac{N_1}{N_2}\,\frac{H_{rp}}{H_{ip}} \quad \rightarrow \qquad (17\text{-}2)$$

ومن المعادلتين (2-12) و(2-13) نحصل على المعادلات التالية:

$$r_p = \frac{N_1 \cos\varphi_2 - N_2 \cos\varphi_1}{N_1 \cos\varphi_2 + N_2 \cos\varphi_1} = \frac{N_1 / \cos\varphi_1 - N_2 / \cos\varphi_2}{N_1 / \cos\varphi_1 + N_2 / \cos\varphi_2} \rightarrow \quad (18\text{-}2)$$

$$t_p = \frac{2N_1 \cos\varphi_2}{N_1 \cos\varphi_2 + N_2 \cos\varphi_1} = \frac{2N_1 / \cos\varphi_1}{N_1 / \cos\varphi_1 + N_2 / \cos\varphi_2} \rightarrow \quad (19\text{-}2)$$

وبتعويض قانون سنل (Snell law) في المعادلتين السابقتين واستخدام بعض المتطابقات المثلثية (Harland and Eugene. 2005) نحصل على تعبير جديد للمعاملات فرنل للانعكاس والنفاذ في حالة الاستقطاب الموازي (P-Polarization):

$$r_p = \frac{\tan(\varphi_2 - \varphi_1)}{\tan(\varphi_2 + \varphi_1)} = \frac{N_1 / \cos\varphi_1 - N_2 / \sqrt{1 - (N_1 / N_2)^2 \sin^2\varphi_1}}{N_1 / \cos\varphi_1 + N_2 / \sqrt{1 - (N_1 / N_2)^2 \sin^2\varphi_1}}$$

$$\equiv \tan\Psi_p \exp(i\,\Delta_p) \quad \rightarrow \qquad (20\text{-}2)$$

$$t_p = \frac{2\sin_2 \cos\varphi_1}{\sin(\varphi_2+\varphi_1)\cos(\varphi_2-\varphi_1)} \quad \rightarrow \qquad (21\text{-}2)$$

من المعادلة (2-20) تم التعبير عن معامل فرنل للانعكاس بدلالة زاويتين Ψ_p, Δ_p، وفي حالة الاستقطاب الموازي (P-Polarization)، حيث تمثل ($\tan\Psi_p$) النسبة بين السعات المنعكسة والساقطة في المجال الكهربائي في حالة الاستقطاب الموازي (P-Polarization) و(Δ_p) تمثل فرق الطور في حالة الاستقطاب الموازي.

الانعكاسية في القطع الناقص تحدد حالة الاستقطاب للموجة المنعكسة بشكل ملائم لحالة الاستقطاب للموجة الساقطة حيث أن التمثيل الملائم لحالة الاستقطاب يتطلب اختيار ملائم لإحداثيات النظام (Coordinate System) في المستوى المعامد لمتجه الموجة.

وبشكل عام يتم تحديد حالة الاستقطاب الناقصي (Elliptic Polarization) للموجتين الساقطة والمنعكسة من خلال تداخل الموجات ذات الاستقطاب الخطي الموازي (P-Polarization) والمعامد (S-Polarization) بأخذ الإسقاطات التالية لنظام السقوط.

من الشكل (2-5) نأخذ الإحداثي ($x_i\text{–}axis$) في مستوى السقوط موجهاً على طول المتجه $\vec{y}_r, \vec{E}_{ip}$ معامد لمستوى السقوط بحيث يكون مستوى الاستقطاب (Polarization axis) مائل عن مستوى السقوط بزاوية قدرها 45^o في الاتجاه الموجب (عكس عقارب الساعة).

والإحداثي ($x_r\text{–}axis$) في مستوى السقوط موجهاً على طول المتجه $\vec{y}_r, \vec{E}_{rp}$ معامد لمستوى السقوط، وبذلك يكون الإحداثي y_r يتطابق مع y_i وتكون المركبة الكهربائية العامودية (E_s) موازية لكل من ($y_i - y_r$).

وعليه تمثل سعة الموجة المنعكسة في مستوى الإحداثيات ($x_r - y_r$) بـ(r_s).

وبعكس اتجاهات الإسقاطات لكل من الإحداثي x_i , x_r في المستوى (x - $axis$) نحصل على السعة الموجية المنعكسة في حالة الاستقطاب الموازي (P-Polarization) ألا وهي ($-r_p$).

ويمكن تمثيل حالة الاستقطاب للموجة المنعكسة باستخدام زاوية السقوط في نظام الإحداثيات (x_r- y_r) كما يلي:

$$\tan \underset{x_r,y_r}{\Psi} \exp\left(i \underset{x_r,y_r}{\Delta}\right) = \frac{-r_p}{r_s} = \frac{-\tan \Psi_p}{\tan \Psi_s} \exp\left(\Delta_p - \Delta_s\right) \rightarrow \quad (22\text{-}2)$$

حيث ظهرت الإشارة السالبة نتيجة لتبادل الدوران لزاوية السقوط؛ وبذلك تمثل نسبة السعات المنعكسة في حالتي الاستقطاب الموازي والمعامد الأساس للقياسات الانعكاس للقطع الناقص مستخدماً العلاقات التالية ($\tilde{r}_s = r_s$)، ($\tilde{r}_p = -r_p$) ويمكن إعادة كتابة المعادلة (22-2) على النحو التالي:

$$\tan \Psi \exp\left(i \Delta\right) = \frac{\tilde{r}_p}{\tilde{r}_s} \rightarrow \quad (23\text{-}2)$$

بقسمة المعادلتين (20-2) و(10-2) تنتج المعادلة التالية:

$$\rho \equiv \frac{r_p}{r_s} = \frac{\tan \Psi_p}{\tan \Psi_s} \exp i\left(\Delta_p - \Delta_s\right)$$

$$\rho \equiv \tan \Psi \exp\left(i \Delta\right) \rightarrow \quad (24\text{-}2)$$

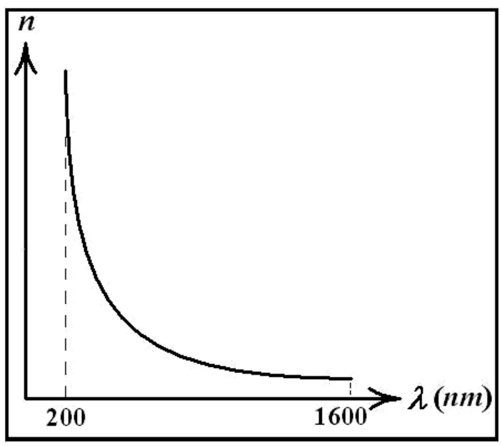
حيث ρ تمثل معامل القطع الناقص، إي النسبة بين معاملات فرنل للانعكاسية للمركبات الموازية وعمودية للموجة المستقطبة، وهذا ما تقوم به مطيافية القطع الناقص المستخدمة في هذه الرسالة.

<u>(5-2) التشتت Dispersion:</u>

يحدث التشتت نتيجة لمرور الأشعة الكهرومغناطيسية خلال الوسط فتنحرف عن مساره بمعاملات انكسار مختلفة تبعاً للاختلاف الأطول الموجية للأشعة الكهرومغناطيسية، وبذلك فإن

علاقات التشتت (Dispersion Relations) تصف طرق تغير انتشار الأشعة مع الطول الموجي والتردد لهذه الأشعة.

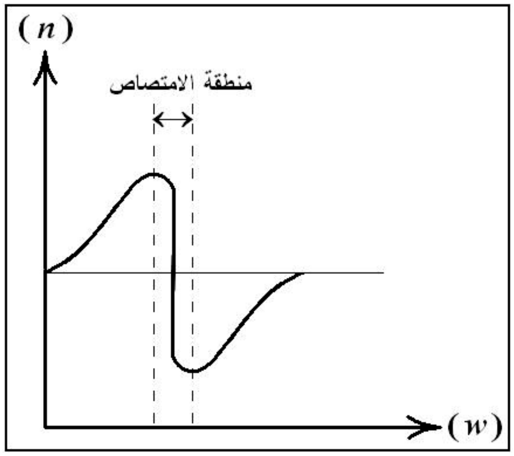
يستخدم المنشور كأداة للتشتت بحيث يحلل الضوء الأبيض الساقط عليه إلى ألوان الطيف المرئي السبعة المكونة له (الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، نيلي، بنفسجي) بمعاملات انكسار مختلفة وذلك لاختلاف الأطوال الموجية لهذه الألوان، حيث يكسر اللون البنفسجي (ذو طول موجي قصير) بمعامل انكسار أكبر من اللون الأزرق، ويكسر اللون الأزرق بمعامل انكسار أكبر من اللون الأخضر وهكذا، أي أن معامل الانكسار (n) يزداد بنقصان الطول الموجي (λ)، وما يحدث في المنشور يمثل النوع الأول من التشتت ألا وهو التشتت الطبيعي (Normal Dispersion) كما هو مبين في الشكل (2-6).



الشكل (2-6) يمثل منحنى التشتت الطبيعي

والنوع الثاني يسمى بالتشت الشاذ (Anomalous Dispersion) يحدث في منطقة الامتصاص ($\frac{dn}{dw}\rangle o$) كما هو مبين في الشكل (2-7). نلاحظ الزيادة في معامل الانكسار (n) مع نقصان التردد (w) (أي الزيادة في الطول الموجي λ)، ويظهر التشتت الشاذ عادة عن ترددات تقابل التردد التوافقي الاعتيادي (Natural Harmonic Frequency) المرافقة لبعض الأجزاء من

الجزيئية أو الذرة من المادة، فعند هذا التردد سوف يحدث انتقال دائم في الطاقة من الأشعة إلى المادة ويلاحظ امتصاص الأشعة.



الشكل (2-7) يمثل منطقة التشتت الشاذ

ونصف الخصائص الفيزيائية الحرجة (Critical Physical Properties) الممثلة بمعامل الانكسار (Refractive Index) ويرمز له بـ(n) ومعامل الانطفاء (Extinction Coefficient) ويرمز له بـ(k) المتناسب مع معامل الامتصاص (Absorption Coefficient) المعطى بتردد الضوء، وهما يمثلان أجزاء معامل الانكسار المعقد (Complex Refractive Index) المعطى بالعلاقة التالية:

$$N = n + ik \qquad (25\text{-}2)$$

حيث كل من (n) و(k) أعداد حقيقية.

يصف معامل الانطفاء (Extinction Coefficient) الامتداد للضوء الممتص للمواد، حيث سعة الموجة (Amplitude) تضمحل أسياً (Exponentially) على طول انتشار الموجة بمعدل ($\frac{4\pi k}{\lambda}$)، وتبين المعادلة (2-26) العلاقة بين معامل الانطفاء ومعامل الامتصاص الذي يعرف بمقلوب المسافة التي تقطعها الموجة قبل أن تضمحل بمقدار ($1/e$) من قيمتها الأصلية.

$$k = \frac{\lambda}{4\pi}\,\alpha \qquad (26\text{-}2)$$

حيث تمثل λ الطول الموجي في الفراغ، وα تمثل معامل الامتصاص.

يكتب ثابت الانتشار (Propagation Constant) لوسط عازل (Dielectric) بالمعادلة التالية المشتقة من معادلات ماكسويل:

$$\xi^2 = \frac{w^2}{c^2}\left[1 + \frac{Ne^2}{m\varepsilon_o}\,\frac{1}{\left(w_o^2 - w^2 - i\,w\gamma\right)}\right] \rightarrow \qquad (27\text{-}2)$$

حيث تمثل γ معامل الإخماد (Damping Constant).

وثابت الانتشار في وسط عازل هو اقتران العزل المركب من جذرين حقيقي وخيالي يكتب على الصورة التالية:

$$\tilde{\xi} = \xi_1 + i\,\xi_2 \,..... \qquad (28\text{-}2)$$

وثابتان العزل (ξ_1, ξ_2) يرتبطان بمعامل الانكسار المعقد (Complex Reflective Index) من خلال العلاقة التالية:

$$\left(\xi_1 + i\,\xi_2\right) = \left(\frac{w}{c}\right)\left(n + i\,k\right) \qquad (29\text{-}2)$$

بالمساواة نجد قيم ثابتا العزل المعطيان يرتبطان بمعامل الانكسار (***n***) ومعامل الانطفاء (***k***) بالعلاقات التالية:

$$\xi_1 = \left(\frac{w}{c}\right) n$$

$$\xi_2 = \left(\frac{w}{c}\right) k$$

بإعادة كتابة المعادلة (2-29) وتربيعها تكتب المعادلة على النحو التالي:

$$\tilde{N}^2 = \left(n + i\,k\right)^2 = \left(\frac{c\,\xi}{w}\right)^2 \,......... \qquad (30\text{-}2)$$

بتعويض المعادلة (2-27) في المعادلة (2-30) نحصل على المعادلة التالية:

$$(n+ik)^2=\left(1+\frac{Ne^2}{m\varepsilon_o}\ \frac{1}{\left(w_o{}^2-w^2-i\,w\gamma\right)}\right) \qquad (31\text{-}2)$$

يكتب الجزء الأيسر من المعادلة (2-31) بالصورة التالية:

$$(n+ik)^2=\left(n^2-k^2\right)+i\ (2nk) \qquad (32\text{-}2)$$

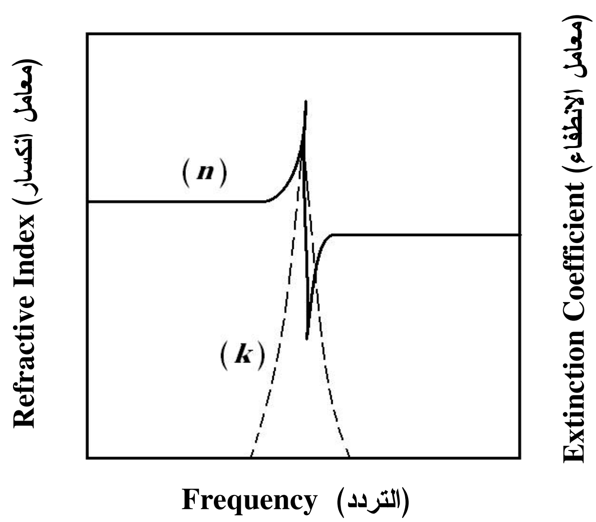
بضرب البسط والمقام في المعادلة (2-31) بمرافق المقام نجد أن:

$$(n+ik)^2=1+\frac{Ne^2}{m\,\varepsilon_o}\left(\frac{w_o{}^2-w^2}{\left(w_o{}^2-w^2\right)^2+w^2\,\gamma^2}\right)+i\left(\frac{w\,\gamma}{\left(w_o^2-w^2\right)+w^2\,\gamma^2}\right) \qquad (33\text{-}2)$$

بمقارنة المعادلتين (2-31) & (2-33) نحصل على المعادلات التالية:

$$n^2-k^2=1+\frac{Ne^2}{m\,\varepsilon_o}\left[\frac{w_o^2-w^2}{\left(w_o^2-w^2\right)^2+\gamma^2\,w^2}\right] \qquad (34\text{-}2)$$

$$2nk=\frac{Ne^2}{m\,\varepsilon_o}\left[\frac{\gamma\,w}{\left(w_o^2-w^2\right)^2+\gamma^2\,w^2}\right] \qquad (35\text{-}2)$$



الشكل (2-8) معامل الانكسار (n) ومعامل الانطفاء (k) المعتمد على التردد الزاوي (w)

ويبين الشكل (2-8) معامل الانكسار (n) ومعامل الانطفاء (k) المحسوبين في المعادلتين (2-34) & (2-35) كاقتران يتغير مع التردد (w)، حيث نلاحظ أن معامل الانطفاء (k) الذي

يصف الامتصاص يصل إلى قمته عند تردد الرنين (Resonant Frequency) ويرمز له (w_o) ونجد أن معامل الانكسار (n) يرتفع بشكل حاد ثم ينخفض بزيادة التردد مقترباً ومـــاراً بتـــردد الرنين ومن ثم يبدأ بالزيادة من جديد، ويقترب معامل الانكسار من واحد (n=1) عند الترددات العالية (High Frequencies)، وقيمة معامل الانكسار (n) في المنطقة الــضيقة (Narrow Region) يتناقص مع التردد (w) وهذا يتعارض مع منطقة التشتت الطبيعي من الوسط الشفاف وتسمى هذه المنطقة بمنطقة التشتت الشاذ، حيث أن الأشعة الساقطة الممتلكة لتردد الرنين هـــي الأشعة الأكثر احتمالاً للامتصاص، ويرتبط تردد الشعاع الممتص للطاقة وفقاً للعلاقة التالية:

$$E_o = \hbar\, w_o = h\, f_o$$

وتبعاً لاختلاف الترددات تنتج سلسلة من ترددات الرنين المميزة لهذه المعـــادن، حيـــث يظهـــر الرنين في مدى الترددات المرئية ويمتص جزء من الطيف ويظهر ملوناً والجزء الآخر ينفـــذ، المعادن الشفافة المشابهة للزجاج هي التي تمتلك ترددات الرنين التي تظهر في منطقتي الأشعة تحت الحمراء (Infrared) والفوق بنفسجية (Ultraviolet) ولا تظهر في المنطقـــة المرئيـــة (Visible).

يفسر وجود عدد من الترددات الرنين إلى الإلكترونات التي تعاني من اخـــتلاف فـــي درجـــات الحرية للاستجابة للمجال الكهربائي المطبق، وبذلك نستطيع إعادة كتابة المعادلة (2-34) بمعادلة عامة تتضمن عدد أكثر من الترردات (w_j) المعطى على النحو التالي:

$$\tilde{N}^2 = 1 + \frac{Ne^2}{m\,\varepsilon_o} \sum_j \frac{f_j}{w_j^2 - w^2 - i\,\gamma_j\, w} \qquad (36\text{-}2)$$

الفصل الثالث

التجربة والقياس (Experimental &Measurement)

(1-3) المقدمة Introduction

يعرض هذا الفصل المواد المستخدمة في هذه الدراسة وكيفية تحضير محاليل العينات بتراكيز مختلفة مكونة من PMMA والتولوين، وشرح تقنية الطلي بالبرم (Spin-Coating) المستخدمة في تحضير الأغشية الرقيقة، ثم التعرف على الأجهزة المستخدمة في اخذ القياسات.

(2-3) المواد المستخدمة

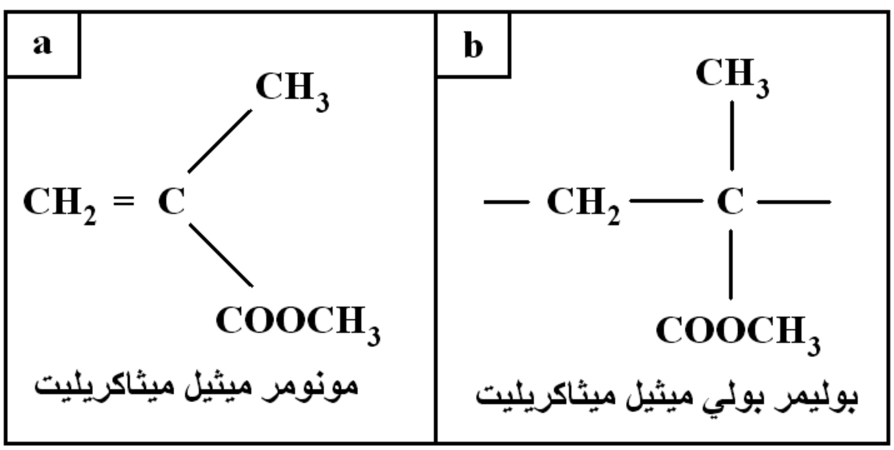
يعتبر علم البوليمرات احد العلوم الكيميائية الحديثة حيث ان تركيب الجزيئات والتي سميت بالبوليمرات لم يعرف بالتحديد الابعد عام 1920م، إلا أنها كانت تستخدم قديما منذ مئات القرون في صنع الملابس من القطن والصوف والحرير وجلود الحيوانات، وفي طعام الإنسان كالزيوت النباتية والشحوم الحيوانية واستعملت كأصباغ ولواصق كالصمغ العربي (Arabic Gum) والإصباغ الحيوانية والإسفلت في طلاء القوارب.

إن البوليمر (Polymer) أو مايسمى في بعض الأحيان بالجزيء العملاق (Macromolecule) كلمة لاتينية تتكون من مقطعين "بولي Poly" وتعني "متعدد" والمقطع "مير Mer" وتعني "الجزء" أي أنها متعدد الأجزاء، كما انه مصطلح يصف الجزيء الطويل المتكون من وحدات بناء ووحدات متكررة مربوطين معا عن طريق الروابط الكيميائية وتعرف عملية تحويل هذه الوحدات إلى بوليمر باسم البلمرة (Polymerization) وهذه الوحدات تتكون من المونومرات (Monomers) والتي غالباً ما تكون جزيئات صغيرة ذات وزن جزيىء قليل ، فان إحداث أي تغير على هذه المونومرات يؤثر في الخواص البوليمر مثل المرونة ، قابلية الذوبان أو قوة شد البوليمر.

لتحقيق الفائدة العلمية من هذه الرسالة نجد من الضروري التعرف على المواد المستخدمة في تحضير العينات، حيث حضرت هذه العينات من بوليمر PMMA المذابة في محاليل التولوين بتراكيز مختلفة، وتم وصف هذه المواد على النحو التالي:

أولاً: بوليمر البولي الميثيل ميثاكريليت (PMMA):

يعتبر بولي الميثيل ميثاكريليت أو مايسمى بالبولي اكريلييت ذو الصيغة الجزيئية $(C_5O_2H_8)_n$ من أهم البوليمرات الصناعية، تم تصنيعها على يد العالم الكيميائي OTTO ROHM عام 1931م، هي مادة بلاستيكية ضد الكسر ناتجة عن تفاعلات الإضافة (Addition Polymerization) للمونومر ميثيل ميثاكريليت (Methylmethacylate) حيث تحدث هذه التفاعلات للمونومرات تحتوي روابط كربونية غير مشبعة ، والشكل (3-1) يبين الوحدة التركيبية للمونومر ميثيل ميثاكريليت وبوليمر بولي ميثيل ميثاكريليت (PMMA).



الشكل (3-1) يمثل الوحدة التركيبية لكل من المونومر (Methyl Methacylate) والبوليمر (Poly Methyl Methacylate)

يحتل بوليمر البولي ميثيل ميثاكريليت (PMMA) مكانة مميزة في تكنولوجيا البوليمرات أو مايعرف بهندسة البلاستكيات (Plastices Enginering) فدخل في صناعات كثيرة منها

المعدات التجارية، الدراجات الرياضية والبخارية، النظارات الشمسية، أغطية للمصابيح، أقراص الهاتف أو المذياع، أزرار التحكم، الأقراص الاسطوانية الليزرية، وسائل الاتصالات للمسافات القصيرة، الألعاب، خطوط الأنابيب الشفافة، أدوات الكتابة والرسم، أقلام الحبر، معدات الحماية من الرماد، المفاتيح الكهربائية، وقاية من إشعاعات بيتا المنبعثة من النظير الإشعاعي، منظم للضوء (Guide)، صناعة الحبوب والأقراص، تطبيقات التحكم عن بعد وغيرها من الصناعات، وذلك لما يمتاز به هذا البوليمر بخصائص واعدة والتي يمكن إجمالها بالنقاط التالية:

١- الخصائص الفيزيائية العامة (General Physical Properties):

بوليمر زجاجي غير متبلور (Amorphous)، الشدة (Hard)، الوضوح (Clarity)، الصلابة (Rigid)، الشفافية (Transparency)، التخفيف (Softening)، سهولة القولبة (Molding)، قابل للشد (Tensile)، قابل للضغط (Compressive)، هش (Brittle)، عالي البريق (High Gloss)، عديم اللون (Colorless)، منفذ للأشعة المرئية بنسبة أكثر من 92%، يمتص الأشعة الفوق بنفسجية (UV)، يمتلك كثافة قدرها $1.19 g/cm^3$ ومعامل انكسار يتراوح بين (1.49-1.51).

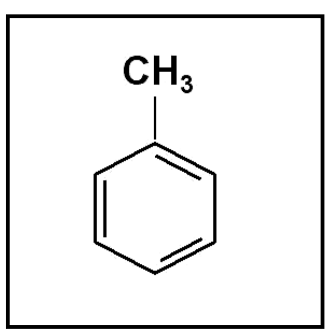
٢- الخصائص الحرارية (Thermal Properties):

مقاومته العالية للتغيرات في درجات الحرارة فيقاوم الارتفاع في درجات حرارة أكثر من (100^o) وانخفاضها لدرجة حرارة أقل من (70^o-) فمقياس الاستقرار الحراري للبوليمر PMMA يكون عند درجة حرارة قدرها (65^o)، فدرجة الانصهار له (130^o-140^o) وتعادل (265-285F) ودرجة الغليان (200^o) وتعادل (392F).

ثانياً: التولوين Toluene

تم في هذا العمل استخدام مذيب التولوين تبلغ نقاوته 99% ولديه عدة خصائص منها: عديم اللون، لاهب، مثير للجلد، ذو رائحة مميزة (Gillham et al. 1994)، اصطناعي (Synthetic) حيث يصنع أثناء عملية تنقية البترول (Petroleum Refining) وقابل للذوبان في مذيبات كيميائية أخرى مثل الميثانول (Methanol)، ايثانول (Ethanol)، أسيتون (Acetone)، الايثر (Ether)، البروبنول (Propanol)، بتروليوم الايثر (Petroleum Ether) والبنزين (Benzene).

من الشكل (3-2) نلاحظ أن التولوين يتركب من حلقة (Ring) لست كربونات مع ثلاثة روابط ثنائية متصلة مع مجموعة الميثيل (CH_3)، حيث تكتب الصيغة الجزئية للتولوين بصورة (C_7H_8)، للتولوين أسماء أخرى كفنيل الميثان (Phenyl Methane)، ميثل البنزين (Methylbenzene) و(Toluol).



الشكل (3-2) الصيغة الجزئية للتولوين

يستخدم التولوين في مجالات عدة، حيث يستخدم في صناعة الحبر، الطلاء، الطــلاء الرقيــق، المواد اللاصقة كصناعة الغراء، أدوات التنظيف، الإصباغ، المطاط، التعقيم، الجلود المدبوغــة، المستحضرات الصيدلة، أظافر تجميل، النسب الكيميائيــة، وإضــافة لــذلك اســتخدم كمــذيب (Solvent) كونه يمتاز بالخصائص الكيميائية والفيزيائية الموضحة في الجدول (3-1):

الجدول (3-1) الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتولوين

الكتلة المولية (غ/مول)	92,14052
الكثافة (غ/سم٣)	0.86
معامل الانكسار	1.4968
الذائبية (غ/لتر)	0.5
درجة الغليان (^{o}C)	111^{o}
درجة الانصهار (^{o}C)	-95^{o}
ضغط البخار (ملي بار)	29
اللزوجة (cp)	0.59

بناءاً على الخصائص السابق ذكرها في الجدول (3-1) استخدم التولوين في هذه الرسالة كمذيب لبوليمر (PMMA) حيث ستضاف نتائج هذه الرسالة إلى مجمل الرسائل الــسابقة التــي تــم استخدام مذيبات أخرى لهذا البوليمر مثل (كلوروبنزين) في رسالتي (بصبوص، 2004) و(عبد الرحمن، 2002) و(الإيثانول) في رسالة (المــولى، 2005) و(الكلوروفــورم) فــي رســالتي (الإبراهيم، 2006) و(النور، 2007).

(3-3) طريقة تحضير العينات:

أولاً: خطوات تحضير المحاليل:

1- لقد تم تحضير أربع عينات بتراكيز مختلفة من محاليل التولوين، حيث تم إضافة نسب كتلية معينة من بوليمر (PMMA) مع 10 ml من التولوين كما هوموضح في الجدول (3-2):

الجدول (3-2) التراكيز للمحاليل العينات

رقم العينة	التراكيز (PMMA/Toluene)
1	0.1
2	1.0
3	2.5
4	5.0

2- ترك المحاليل المحضرة لمدة يوم أو أكثر لضمان الذوبان الكامل لهذه المحاليل.

3- استخدام الصفيحة الساخنة (Hot Plat) لتسخين المحاليل بالحرارة والمحرك المغناطيسي (Magnetic Stirrers) لتحريك وضمان الذوبان الكامل لهذه المحاليل.

4- استخدام ورق الترشيح للتخلص من جميع الرواسب والحصول على محاليل نقية.

5- من المحاليل المذكورة في الجدول (3-2) تم تحضير مجموعتين من الأغشية الرقيقة على سرعتين مختلفتين للطلي بالبرم ،حيث تم تحضير المجموعة (A) على سرعة دوران قدرها (1500 rpm)، والمجموعة (B) على سرعة دوران قدرها (2500 rpm).

6- تعريض المجموعتين السابق ذكرها للتسخين بالفرن على درجة حرارة 140° لمدة ساعة واحدة، فأصبح لدينا مجموعتين جديدتين ،حيث سميت المجموعة (A) بعد التسخين بالمجموعة (C)، والمجموعة(B) بعد التسخين بالمجموعة (D)، ويبن الجدول (3-3) تصنيف العينات الى

مجموعات ورموز العينات وتركيزها وسرعة الدوران لجهاز الطلي بالبرم ودرجة حرارة العينة بعد تحضيرها.

الجدول (3-3) يبين تصنيف العينات إلى مجموعات

درجة الحرارة (C^o)	سرعة الدوران (rpm)	التراكيز (PMMA/Toluene) (wv%)	اسم العينة	المجموعة
(23^o)	1500	0.1	A_1	A
		1.0	A_2	
		2.5	A_3	
		5.0	A_4	
(23^o)	2500	0.1	B_1	B
		1.0	B_2	
		2.5	B_3	
		5.0	B_4	
(140^o)	1500	0.1	C_1	C
		1.0	C_2	
		2.5	C_3	
		5.0	C_4	
(140^o)	2500	0.1	D_1	D
		1.0	D_2	
		2.5	D_3	
		5.0	D_4	

ثانياً: تحضير الأغشية الرقيقة Thin Films Preparation:

يعرض هذا الجزء الخطوات المتبعة لتحضير الشرائح الزجاجية بصورة جيدة والتي يمكن ذكرها على النحو التالي:

1- تنظيف الشرائح الزجاجية باستخدام الماء والصابون للتخلص من العوالق والشوائب.

2- تنظيف الشرائح بالماء المقطر مستخدما جهاز (Ultra Sound Path).

3- تنظيف الشرائح بمادة الأسيتون.

4- تجفيف الشرائح جيداً بواسطة الهواء الجاف.

5- وضع كمية مقدارها (1.6 ml) من العينة المحضرة باستخدام الماصة الزجاجية على الشرائح وإجراء عملية الطلي بالبرم، أي برم العينة بواسطة ماتور مثبت يدور بسرعة يمكن التحكم بها.

6- ترك العينات بدون معالجة في الحافظة المفرغة من الهواء لمدة يوم لكي تتطاير جزيئات المذيب.

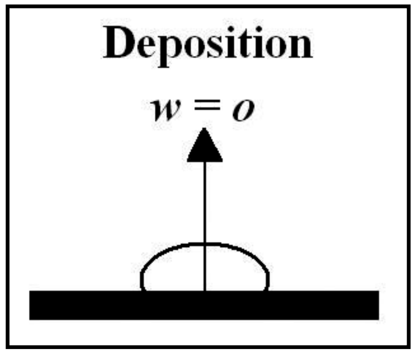
(4-3) تقنية الطلي بالبرم (Spin Coating Technique):

تم إستخدام هذه التقنية للتحضير الأغشية الرقيقة لما تتسم به بالسهولة والبساطة حيث يمكن وصف هذه التقنية بثلاثة مراحل على النحو التالي:

المرحلة الأولى:

في هذه المرحلة يتم ترشيح محتويات المادة والتخلص من الحبيبات غير الذائبية بواسطة المرشح، ومن ثم نقوم باستخدام الماصة الزجاجية لإفراغ محتويات المادة المراد صنع الغشاء الرقيق منها على الطبقة الأساس (الدعامة)، بحيث يؤخذ بعين الاعتبار أن تكون محتويات

السائل موزعة بانتظام على الطبقة الأساس (الزجاج) وتكون كمية متناسبة مع السمك المراد تحضيره، ويبين الشكل (3-3) آلية هذه المرحلة:

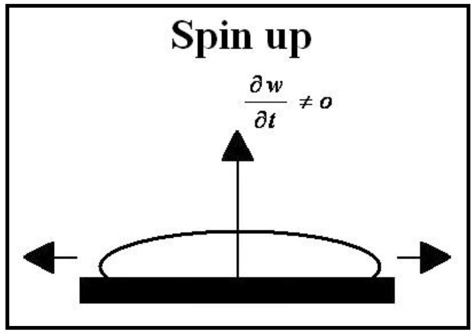


الشكل (3-3) يوضح عملية ترسيب المحتويات على الطبقة الأساس (الدعامة)

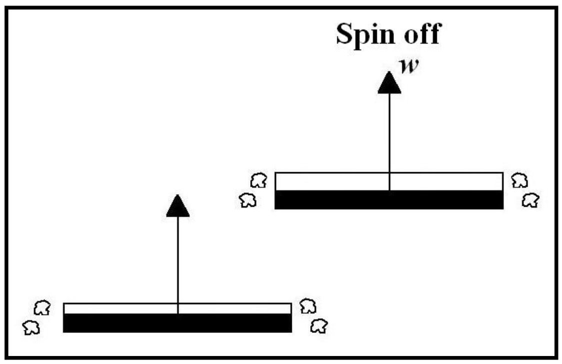
المرحلة الثانية:

في هذه المرحلة تجري عملية البرم (Spin) للطبقة الأساس (الدعامة)، حيث تنتشر محتويات السائل بفعل الدوران على طبقة الأساس ويصبح سمكها متجانس مع البرم، وبهذه تتشكل الدوامة السائلة بحيث تكون أطرافها أقل سمكاً من وسطها كما هو موضح في الشكل (3-4) وبسبب القصور الذاتي للعينة تنشر المحتويات بهذه الطريقة إلى أن تصل إلى أطراف الطبقة الأساس وتتطاير خارج نطاقها حيث نحصل على غشاء متجانس وبنفس السمك كما هو مبين في الشكل (3-5)، ومن الجدير بالذكر فإن عملية البرم مهمة أيضاً للتخلص من الحبيبات العالقة على الغشاء إن وجدت.

يمكننا التحكم بسمك الغشاء وذلك إما بتغيير كل من كمية المذيب أو السرعة الزاوية في عملية البرم أو الاثنين معاً للحصول على أغشية الرقيقة، أما في حالة الأغشية السميكة فنقوم بتقليل السرعة الزاوية أو كمية المذيب حيث تصبح محتويات ذات لزوجة عالية.



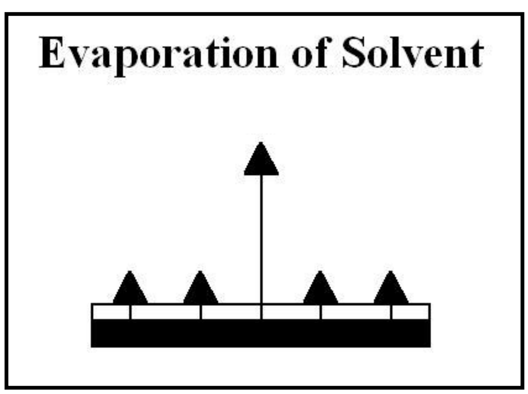
الشكل(3-4)يوضح كيفية انتشار محتويات مركب العينة على الطبقة الأساس (الدعامة) أثناء عملية البرم



الشكل(3-5) يوضح التناقص التدريجي في السمك باستمرار البرم

المرحلة الثالثة:

في ظل الظروف الاعتيادية للتخلص من المذيب يترك الغشاء المحضر للفترة زمنية لا تقل عن 24 ساعة داخل الحافظات الزجاجية كما هو موضح في الشكل (3-6)، ومن ثم نحدد منطقة منتظمة على سطح الغشاء نأخذ القياسات الضوئية عندها.



الشكل (3-6) يوضح عملية تبخر المذيب

(5-3) الأجهزة المستخدمة لمعالجة العينات:

(1-5-3) المجهر الالكتروني الماسح Scanning Electron Microscope(SEM):

يستخدم المجهر الإلكتروني شعاعاً من الالكترونات بدلاً من أشعة الضوء لتكبير الأجسام ،وقد أصبح المجهر الإلكتروني أداة هامة للأبحاث في علوم الأحياء، الكيمياء، الطب والفيزياء، حيث استخدمه العلماء لرؤية الأشياء البالغة في الصغر كالبكتيريا والفيروسات، وفي عام 1970م أخذت أول صورة لذرات منفردة للثوريوم واليورانيوم بوساطة المجهر الالكتروني.

يشكل المجهر الالكتروني الماسح (SEM) أداة مذهلة لمشاهدة العالم غير المرئي من الأجسام الدقيقة جداً، حيث تستخدم المجاهر الضوئية الاعتيادية الأخرى سلسلة من العدسات الزجاجية لتقوم بتجميع أو تحديب موجات الضوء وإنشاء صورة مكبرة عنها، لكن المجهر الالكتروني الماسح يعتمد في تكوين الصورة مكبرة على استخدام الالكترونات بدلاً من الموجات الضوئية، يقوم المجهر الماسح بعرض صورة مفصلة ثلاثية الأبعاد ومكبرة بدرجات تفوق تلك الناتجة عن المجاهر الضوئية، وتكون الصور الناتجة عن هذا الميكروسكوب الالكتروني باللونين الأسود والأبيض نظرا لأنها لاتعتمد على الموجات الضوئية.

مبدأ عمل الجهاز:

توضع العينة المراد فحصها داخل العمود المفرغ من الهواء في المجهر الالكتروني من خلال مدخل أو سدادة محكمة الإغلاق، وبعد ما يفرغ العمود تماما من الهواء يطلق المدفع الالكتروني حزمة شعاعيه ذات طاقة عالية من الالكترونات، ينطلق هذا الشعاع الالكتروني متجها إلى الأسفل عبر سلسلة من العدسات المغناطيسية التي صممت لتقوم بتركيز وتجميع الالكترونات في موضع محدد ودقيق.

بالقرب من نهاية العمود المفرغ السفلية توجد مجموعة من الملفات المغناطيسية الماسحة والتي تقوم بدورها بتحريك الشعاع المركز من الالكترونات فوق العينة المراد فحصها ذهابا وإيابا، وصفاً تلو الأخر حتى يتم تغطية العينة كلها.

وعند ملامسة الشعاع الالكتروني لسطح العينة تتحرر بعض الالكترونات الثانوية (Secondary electrons) من سطح العينة ويتم الكشف عن هذه الالكترونات المحررة عبر كاشف خاص (Detectors) يقوم أيضاً بحصرها وإرسال إشارة خاصة لجهاز مكبر الإشارات الالكتروني، تتكون الصورة النهائية تبعاً لعدد الالكترونات المحررة من كل نقطة على سطح العينة، وبذلك تنشأ الصورة محاكية تماماً للعينة ومطابقة لها.

(2-5-3) المطياف Spectrophotometer:

مطيافية الامتصاص (Absorption spectroscopy) منتجة عن مدى التفاعل المستعمل في التقنية بين الشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة، فالمطيافية تعني تحري بعض الكميات الفيزيائية بالاعتماد على الطول الموجي أو التردد أو الطاقة، ويمكن الحصول على هذا النوع من الاعتمادية من خلال تقنيات مختلفة تستخدم في العلوم الفيزيائية والكيميائية، وللمطيافية أنواع عديدة كمطيافية الأشعة تحت الحمراء، مطيافية الأشعة تحت حمراء القريبة، مطيافية موجات المايكروويف، ومطيافية الأشعة المرئية والفوق بنفسجية اعتماداً على مدى الأطوال الموجية للأشعة الساقطة على العينة.

الجهاز المستعمل للقياس المطيافية يسمى بالمطياف (Spectrophotometer) حيث يقيس المطياف الامتصاصية (Absorbance) للعينة معتمداً على نفاذية (Transmittance) الأشعة والتي تمثل النسبة بين كثافة الضوء بعد وقبل مروره بالعينة، يخضع المطياف للقانون بير–

لامبرت (Beer-Lambert Law) الذي ينص على أن حالات الامتصاص للمحاليـل تتناسـب طردياً مع تراكيز هذه المحاليل المعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$A = Ln\left({}^{I}\!/_{I_o} \right) = kC\,L$$

حيث تمثل:

A – الامتصاصية المقاسة للعينة

I_o – كثافة الشعاع الساقط قبل مروره بالعينة

I– كثافة الشعاع الساقط بعد مروره بالعينة

L – طول المسافة خلال العينة (Path length)

C– تركيز العينة

k– معامل الانطفاء (Extinction coefficients)

يتكون المطياف من مصدر للضوء عادة يكون الهيدروجين أو الديوتريوم، موحد الطول الموجي (Monochromator) والذي يعرف في الأجهزة الحديثة للتحليل الطيفي باسم المحزوز الـذي يقوم بتحديد الطول الموجي الذي حدث عنده أعلى امتصاص وباستقبال الحزم الـضوئية التـي تكون زاوية سقوطها مناسبة على الموحد وتعكسها موجهة للفلتر (Filter) الذي يقوم باختيـار الحزم المناسبة بشكل دقيق جداً وينقلها إلى مرآة عاكسة ترسل الحزم الضوئية الساقطة إلى خلية العينة (Sample Cell)، ومن ثم إلى الكاشف (Detector) الذي يكشف ويستدل من خلاله عن حدوث امتصاص من خلال قياس التغير في كمية الضوء الخارج من العينة ونشاهد ذلك علـى الشاشة (Monitor)، ويبن الشكل (3-7) خطوات انتقال الشعاع في جهاز المطياف.

المصدر ضوئي ← موحد الطول الموجي ← الفلتر ← خلية العينة ← الكاشف ← الشاشة

الشكل (3-7) خطوات انتقال الضوء في المطياف

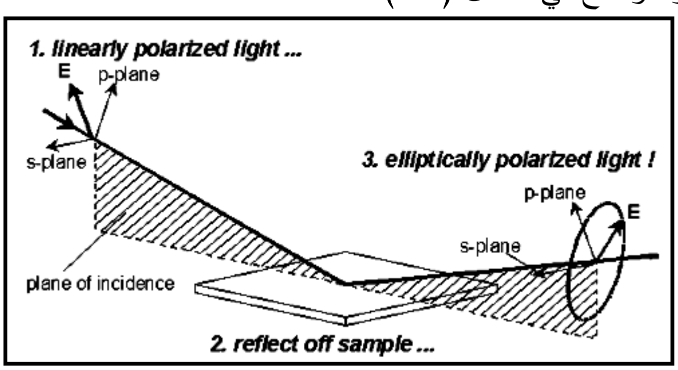
ويتم الحصول على الاطياف عن طريق المسح الضوئي للاطوال الموجية والقياسات الكمية.

العينات المستخدمة في المطياف عادة تكون في حالة سائلة على الرغم من امكانية المطياف في قياس الامتصاصية للغازات والمواد الصلبة المنتظمة، حيث توضع العينات في خلايا شفافة تسمى الحافظات (Cuvettes) وهي مستطيلة الشكل عمقها الداخلي يساوي (1cm) ويعادل طول المسافة (L) في قانون بير–لامبرت، وتصنع هذه الحافظات (Cuvettes) من مواد عالية الجودة مثل السليكا (Silica)، زجاج الكوارتز (Quartz Glass) وبوليسترين (Polystyrene) لأنها ذات شفافية في كل مكان للمناطق الفوق بنفسجية، المرئية وتحت حمراء.

(3-5-3) مطيافية القطع الناقص متغير الزاوية Variable Angle Spectroscopic Ellipsometry (VASE)

مطيافية القطع الناقص متغير الزاوية (VASE) هي تقنية تستخدم لقياس سمك الغشاء الرقيق الثوابت البصرية للغشاء ومعامل الانكسار لما يمتاز به من دقة وحساسية عالية في تحديد الخواص البصرية والبنيوية للاغشية المصنعة وتعتبر في القياس تقنية رئيسية لتحديد الثوابت البصرية في منطقة الاشعة تحت الحمراء القريبة (IR) وفي منطقتي الاشعة المرئية (Visible) والفوق بنفسجية (UV).

تعتمد هذه التقنية في قياسها على قياس التغير في حالة الاستقطاب للضوء المنعكس عن سطح العينة (Sample) الناتج عن الضوء الساقط خطياً على العينة فينعكس الضوء في استقطاب القطع الناقص كما هو موضح في الشكل (3-8):

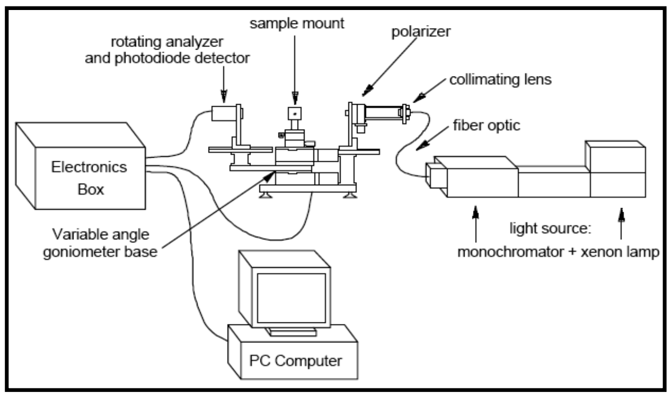


الشكل (3-8) تفاعل الضوءالمستقطب مع المادة (Woollam،1996)

وتقوم هذه التقنية على اجراء عملية المطابقة (Fitting) بين النتائج العملية والنماذج المقترحة وذلك من خلال وضع نموذج نظري لمطابقة النتائج عن طريق حل معاملات فرنل للنموذج المقترح مع نتائج البيانات العملية لإيجاد قيم معاملات القطع الناقص التي تعطى بالعلاقة التالية:

$$\rho = \frac{r_p}{r_s} = \tan\Psi \exp(i\Delta)$$

ويبين الشكل (3-9) اجزاء مطيافية القطع الناقص والتي يمكن ذكرها على النحو التالي:



الشكل (3-9) مكونات جهاز مطيافية القطع الناقص (Woollam،1996)

1- المصدر الضوئي (Light source) وهو عبارة عن مصباح يحتوي على غاز الزينون (Xenon) موجود داخل غرفة صغيرة تحت ضغط عال ويمتاز بالاستقرارية أي ثبات شدته مع الزمن وتغير الطول الموجي وهو ضروري للحصول على نتائج دقيقة من المطياف.

2- موحد اللون (Monochromator) يقوم باختيار الطول الموجي المطلوب في التشغيل

3- وحدة الترشيح (light Filter) يضبط حزمة الضوء المطلوبة ويمنع الاطوال الموجية المتداخلة مع الطول الموجي المختار من دخول الليف البصري.

4- الالياف البصرية (Optical Fibers) تقوم الالياف البصرية بنقل الحزمة الضوئية من وحدة الترشيح الى المجمع Collimator.

5- وحدة الإدخال (Input Unit):

تتكون هذه الوحدة من ثلاثة اجزاء:

- المجمع (Collimatior) للتأكد أن المقدار الأكبر من الحزم الضوئية وصلت العينة وذلك من خلال العدسات.

- المستقطب (Polarizer) يعمل على تحويل الضوء غير مستقطب القادم من المرشح الضوئي عبر الليف البصري الى ضوء مستقطب استقطاباً خطياً.

- كاشف الترصيف (Alignment Detector) يستخدم لتهئية العينة ولضمان وصول الحزمة الضوئية الساقطة بشكل منتظم وعمودي على عينة الدراسة.

6- وحدة الاخراج (Out put Unit):

تتالف من القزحية التي تتحكم بكميةالضوء المنعكس من العينة المحلل Analyzerالـذي يقـوم بتحديد حالة الاستقطاب للضوء المنعكس والكاشف Detector الذي يحـول الحـزم الـضوئية المستقطبة إلى إشارات كهربائية.

7- وحدة القاعدة (Base Unit):

تستخدم لتغير الزوايا وتحديدها، وتتكون من حامل للعينات والقاعدة المدرجة التي يـشير فيهـا التدريج إلى زاوية السقوط المستخدمة (φ) ومجموع زاويتي السقوط والانعكاس (2φ).

8- الصندوق الالكتروني (Electronic Box):

يحتوي على جميع الدوائر الكهربائية لتشغيل الجهاز ويتضمن محرك سريع للنظـام المعيـاري (VASE) ومرشح الكتروني لاشارات كاشف الترصيف.

9- الحاسوب (Computer):

يقوم باستقبال الإشارات الكهربائية من الكاشف في وحـدة الإخـراج ليـتم تحليلهـا وحـساب المعاملات الناقصية (Δ,Ψ) بالإضافة الى ذلك يتم خزن هذه المعلومات العملية ويتحكم ايـضا

الحاسوب بالأنظمة الكهربائية والقياسية للمطياف الضوئي وثم يتم استخدام البرنامج المرفق مع الجهاز لإعطاء الأوامر المتعلقة بضبط المنظومة وإجراء القياسات المختلفــة وتحليــل النتــائج العملية والتي عن طريقها يتم إيجاد الثوابت البصرية المطلوبة.

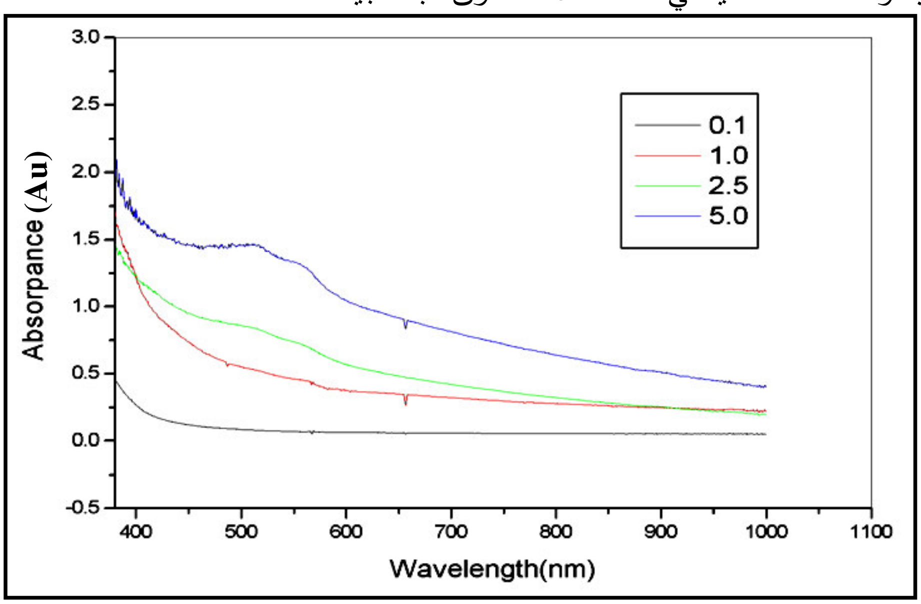
الفصل الرابع
النتائج العملية

المقدمة:

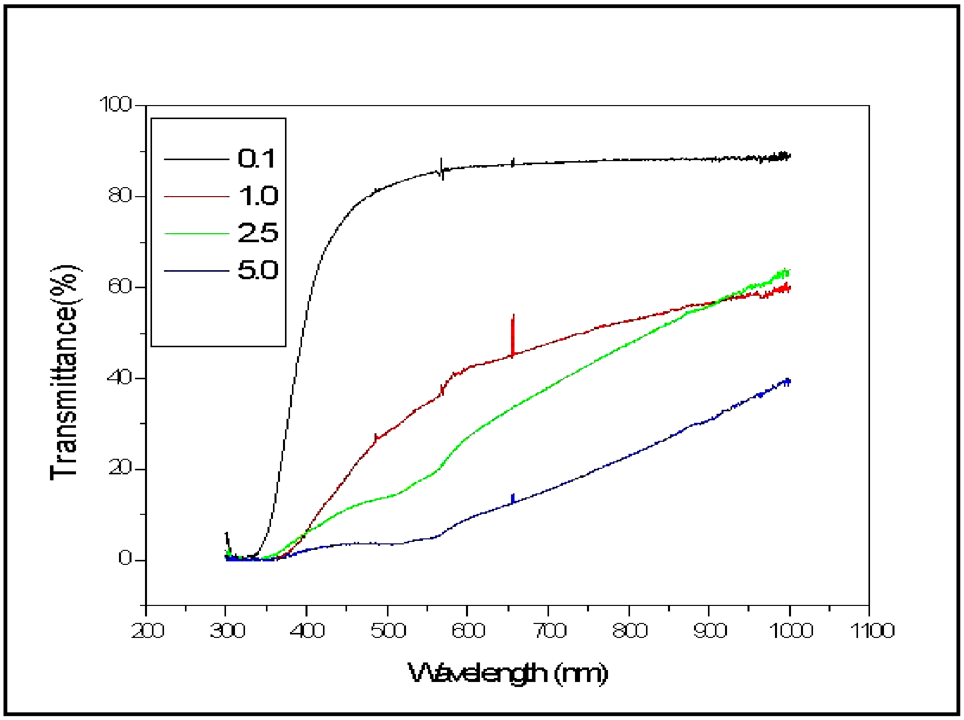
يتناول هذا الفصل عرضاً للنتائج العملية التي تم التوصل إليها في هذا البحث وكذلك مناقشة هذه النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام وسائل متعددة ابتداءاً من الحصول على قياسات طيفية على المحاليل التي تم تحضيرها ثم تصنيع الأغشية الرقيقة منها مروراً بدراسة البنية السطحية المجهرية للاغشية المحضرة وانتهاءاً بإيجاد معاملات مطيافية القطع الناقص والمعاملات البصرية لعينات الدراسة.

(4-1) قياسات الامتصاص والنفاذية:

تمثل الاشكال (4-1)، (4-2) أطياف الامتصاص (Absorbance) والنفاذية (Transmittance) للمحاليل التي تم تحضيرها وعددها أربعة مصنفة على تراكيز مختلفة من بوليمر PMMA بالنسبة إلى المذيب (التولوين). ويلاحظ من الشكل (4-1) أن هذه المحاليل تمتلك امتصاصية منخفضة قريبة من الصفر على المدى الطيفي (400-1000) نانوميتر، بينما تمتلك امتصاصية مرتفعة في منطقة الأشعة فوق البنفسجية (300-400) نانوميتر بالمقابل فإن أطياف النفاذية تظهر بأنها تمتلك نفاذية عالية على المدى الطيفي (400-1000) نانوميتر، بينما يقل نفاذ الضوء في المنطقة من (300-400) نانوميتر، إلا أن هذه النفاذية تقل كلما انتقلنا من محلول ذو التركيز القليل إلى المحلول ذو التركيز الأعلى، مع الإشارة إلى أن المحلول ذو التركيز الأقل مشابهاً في سلوكه الطيفي لسلوك الزجاج التي يمتلك نفاذية عالية في منطقة الاشعة المرئية وامتصاصاً عالياً في منطقة الاشعة فوق البنفسجية.



الشكل (4-1) يمثل طيف الامتصاص لمحاليل PMMA المذابة بالتولوين



الشكل (4-2) يمثل طيف النفاذية لمحاليل PMMA المذابة بالتولوين

(4-2) التركيب المجهري للأغشية الرقيقة:

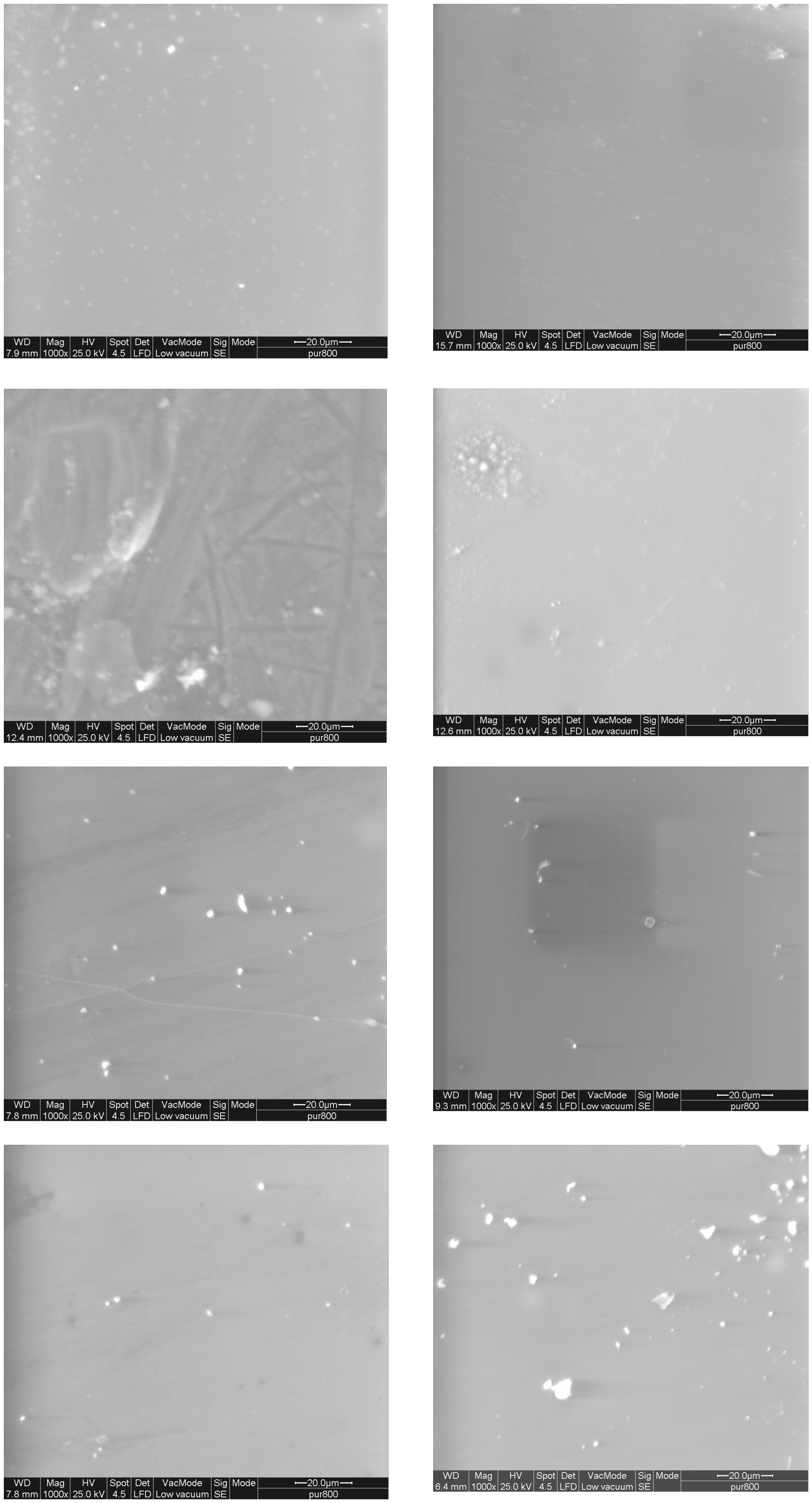
من المتبع في كثير من الدراسات البحثية اللجوء إلى وسيلة المجهر الماسح الالكتروني للبحث في التركيب البنيوي للأسطح، في دراستنا هذه والتي تركز الضوء على الأغشية الرقيقة واعتماد صفاتها البصرية على البنية السطحية نرى من الضروري اللجوء إلى هذه الوسيلة في البحث عن الخصائص السطحية لعينات الدراسة يتم في هذه التقنية تسليط شعاعاً من الإلكترونات ليمسح كامل سطح العينة، حيث ينعكس عنها ليلتقطها كاشف الالكترونات المنعكسة ويجمعها ليتم عرضها بنفس معدل المسح على أنبوب الأشعة المهبطية، الصورة التي تم التقاطها تمثل الخصائص السطحية للعينة التي تم مسحها، إذ يشترط في القياس بغض النظر عن شكلها (ناعم، خشن، مكشوط) إن تكون موصلة، فإذا كانت عينة القياس من مادة عازلة فيتم طلاؤها بطبقة رقيقة معدنية.

يمثل الشكل (4–3) صوراً لأسطح عينات المجموعة A، يلاحظ من هذه الجدول إن جميع العينات تمتلك نوعاً من الانتظام في بنيتها السطحية مع وجود تركيبة حبيبية وبعض الشوائب

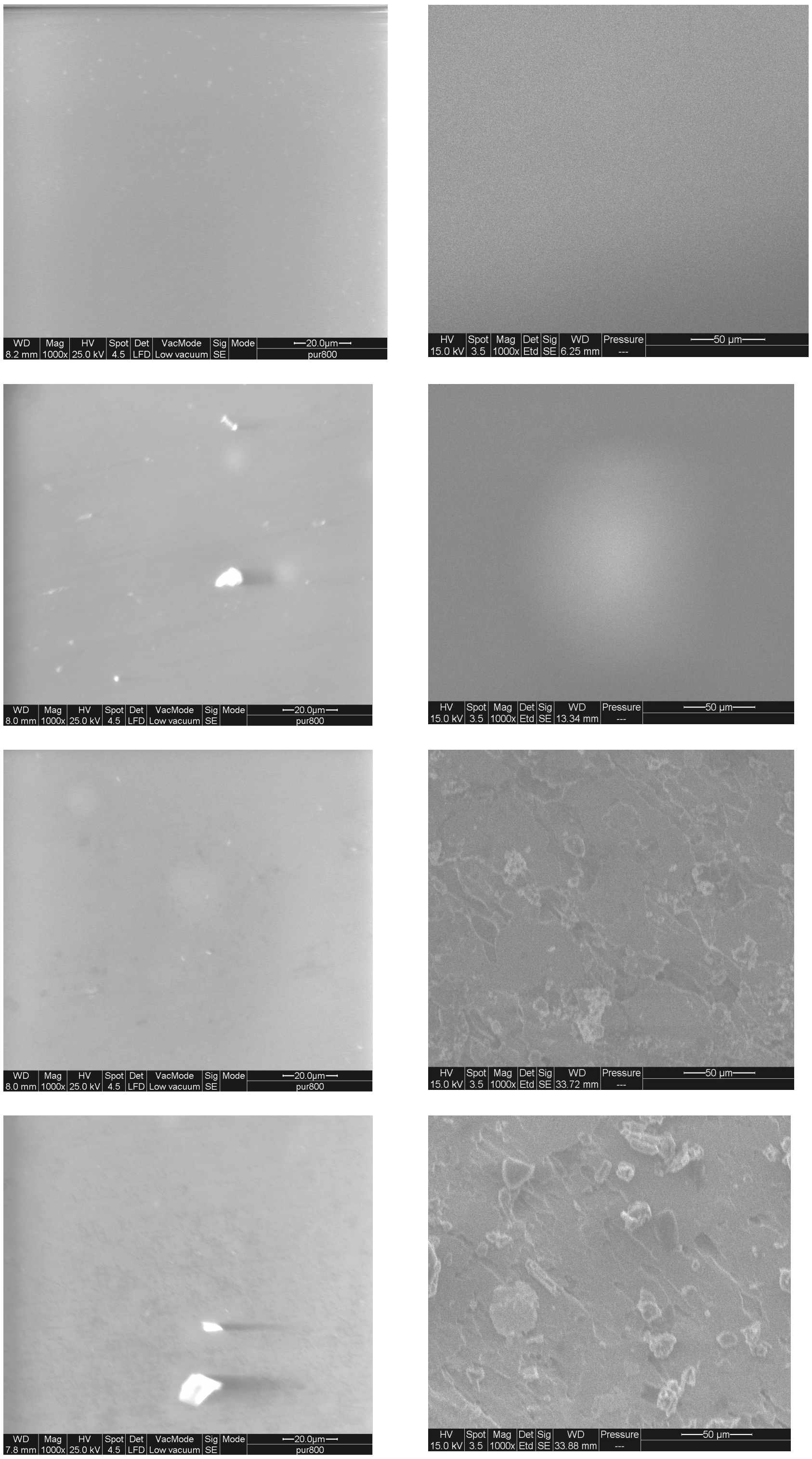
التي يمكن أن تكون دقائق غبار التصقت بالعينات أثناء عملية التحضير، كما يلاحظ بأن العينة A_2 تعاني من تركيبة طبقية مقارنة مع العينات الأخرى، ويلاحظ أيضاً من الشكل مجموعة أخرى من الصور للأغشية الرقيقة من المجموعة A بعد وضعها في الفرن لمدة ساعة كاملة تحت درجة حرارة 140 درجة مئوية، وقد أطلقنا على هذه العينات الرموز C_1-C_4 اللافت للانتباه عند النظر في هذه العينات أنها جميعها أصبحت أكثر انتظاماً وأن التركيبة الحبيبية قد تراجعت في حين أن الشوائب التي أشرنا إليها أعلاه قد بقيت مما يعزز افتراضنا السابق بأن هذه الشوائب قد التصقت بالعينات أثناء عملية التحضير.

هذا ويمكن إضافة استنتاجاً آخراً مرتبطاً بتشكل تجمعات (Clusters) من جزئيات البوليمر PMMA في مناطق على سطح الطبقة الساندة لدى بعض العينات وتحديداً العينات A_3، A_4 وهي العينات المحضرة من محاليل ذات تراكيز مرتفعة نسبياً.

الاستنتاجات نفسها يمكن وضعها للعينات التي حضرت على سرعة دوران اكبر وهي عينات المجموعة B وعينات المجموعة D، مع العلم بأن عينات المجموعة D (تمثل المجموعة B بعد التسخين)، حيث يلاحظ بان هذه العينات أصبحت أكثر تجانساً للتراكيز المنخفضة وذات تجمعات متفرقة للتراكيز المرتفعة مع وجود فراغات مسامية وبعض الشوائب التي تبلغ ابعادها ($4\mu m$، $9\mu m$) في العينتين (B_2 , B_4)، ($2\mu m$) في العينة (A_3) و($8\mu m$) في العينة (C_4).



الشكل (3-4) صور المجهر الماسح الإلكتروني للمجموعتين A, C



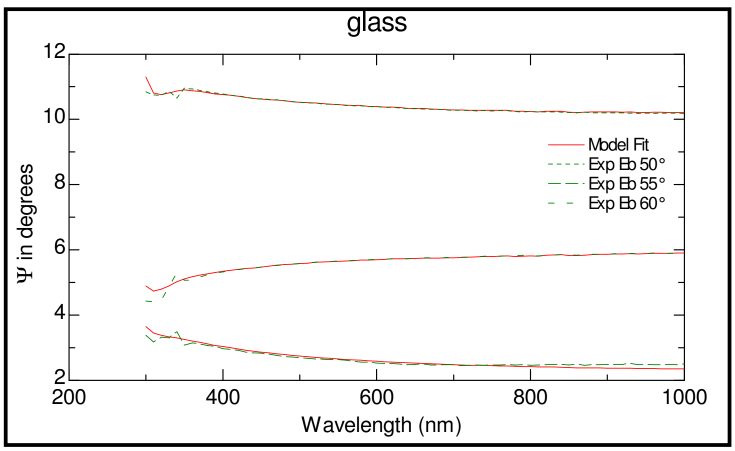
الشكل (4-4) صور المجهر الماسح الإلكتروني للمجموعتين B, D

(3-4) قياسات مطيافية القطع الناقص:

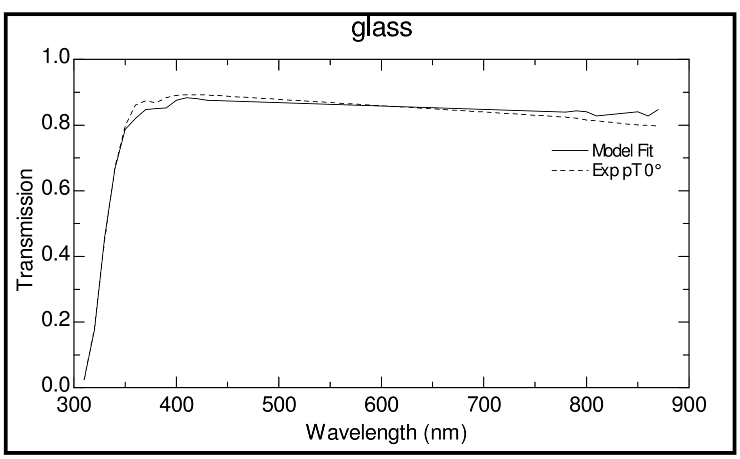
سيتم عرض نتائج قياسات مطيافية القطع الناقص في هذه الفقرة ،حيث سنتناول قياسات الطبقــة الساندة (الزجاج) وتحليلها والمعاملات البصرية لها ، ومن ثــم القياســات الطيفيــة للاغــشية المحضرة والتي تم تصنيفها على مجموعات تم ذكرها في الجدول (3-3).

(1-3-4) طبقة الزجاج الساندة:

يمثل الشكل (5-4) المعامل على المدى الطيفي (300-1000) نانوميتر مقاسا على ثلاثة زوايــا سقوط وهي (60^o, 55^o, 50^o)، كما يبين الــشكل (6-4) طيــف النفاذيــة (Transmission) للزجاج على ذات المدى الطيفي، وتوضح هذه الاشكال الشفافية التي يمتلكها الزجاج على المدى الطيفي للأشعة المرئية بينما يمتلك الزجاج امتصاصاً في المنطقة الطيفية المحصورة بين (300-400) نانوميتر.



الشكل (5-4) يوضح معامل Ψ على المدى الطيفي nm (300-1000)



الشكل (6-4) يمثل طيف النفاذية لطبقة الزجاج الساندة

إن مطيافية القطع الناقص تتطلب وضع نموذجاً بصرياً يحاكي العينة المقاسة لبيان علاقة التشتت واعتماد معامل الانكسار على الطول الموجي، عند القيام بهذا الاجراء بالنسبة لطبقـة الزجـاج الساندة تم اقتراح نموذج كوشي حيث يستخدم للحصول على الثوابت البصرية للمـواد العازلـة وشبه الموصلة، وتعطى علاقة كوشي للتشتت بدلالة الأطوال الموجية بالعلاقتين التاليتين:

$$n(\lambda)= A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$$

$$k(\lambda)= \alpha \exp\left[\beta\left\{1240\left[\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\gamma}\right]\right\}\right]$$

حيث تمثل A, B, C معاملات كوشي α, β, γ ثوابت تتحدد من مواءمة النتائج النظرية مـع التجريبية، وبناءاً على هذا النموذج تم إجراء عملية المطابقة بعد إدخال قيمة المعاملات A,B,C كقيم أولية (A=1.45، B=0.01، C=0) ونتيجة لذلك تم الحصول على MSE = 30

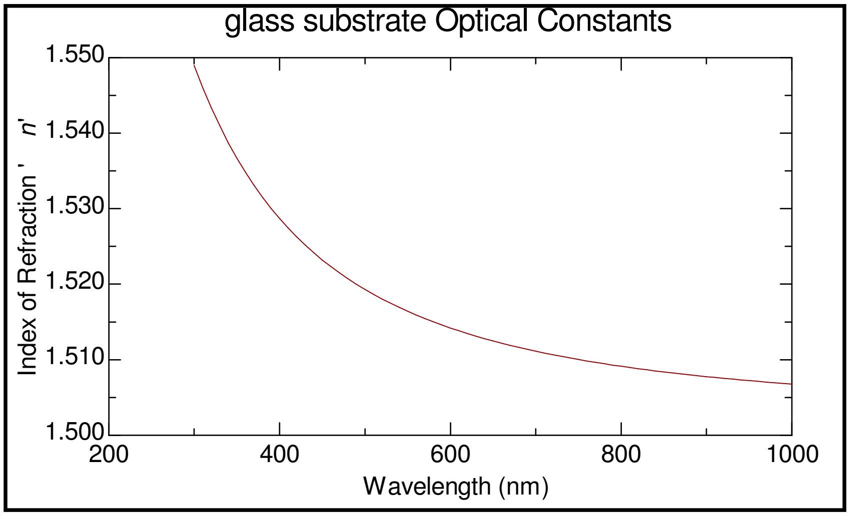
حيث تم وضع المعاملات A, B, C كمعاملات تخضع لعملية المطابقة ومن ثم تم إلحاق طيـف النفاذية وتثبت المعاملات A, B, C مع وضع k كمعامل خاضع لعملية المطابقة. ونتيجة لـذلك فقد تم الحصول على MSE = 5.726 وكذلك الحصول على الثوابت التالية:

$A = 1.5026 \pm 0,000406$

$B = 0.0041746 \pm 0.000122$

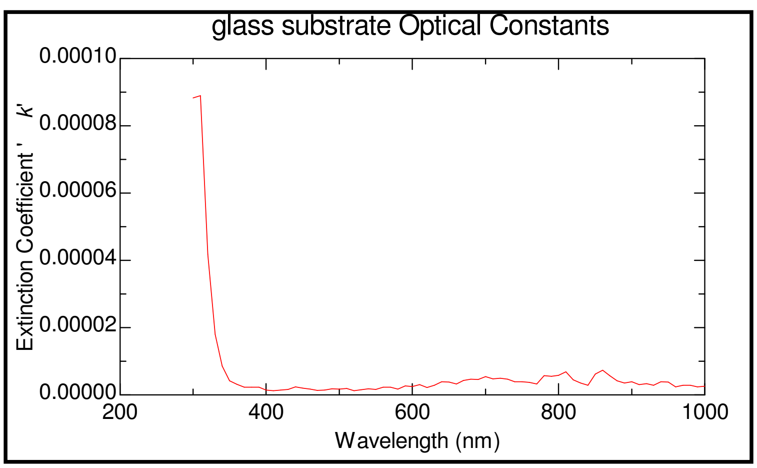
$C = 0$

ونتيجة لقبول عملية المطابقة تم الحصول على اعتماد معامل الانكسار على الطــول المــوجي والمبين في الشكل (4-7).



الشكل (4- 7) يبين العلاقة بين معامل الانكسار والطول الموجي لطبقة الزجاج الساندة (الدعامة)

وكذلك معامل الانطفاء والمبين في الشكل (4-8) بناء على هذه المعطيــات تــم تخــزين هــذه المعاملات البصرية حتى يتسنى استخدامها لاحقا عند بناء نماذج بصرية تحاكي واقع الاغــشية الرقيقة المرسبة على طبقات ساندة من الزجاج.

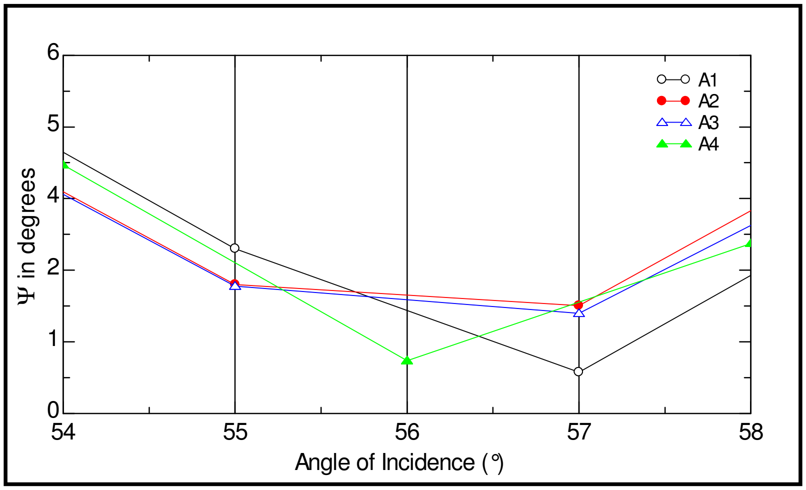


الشكل (4-8) يوضح معامل الانطفاء لطبقة الزجاج الساندة (الدعامة)

(2-3-4) زوايا بروستر:

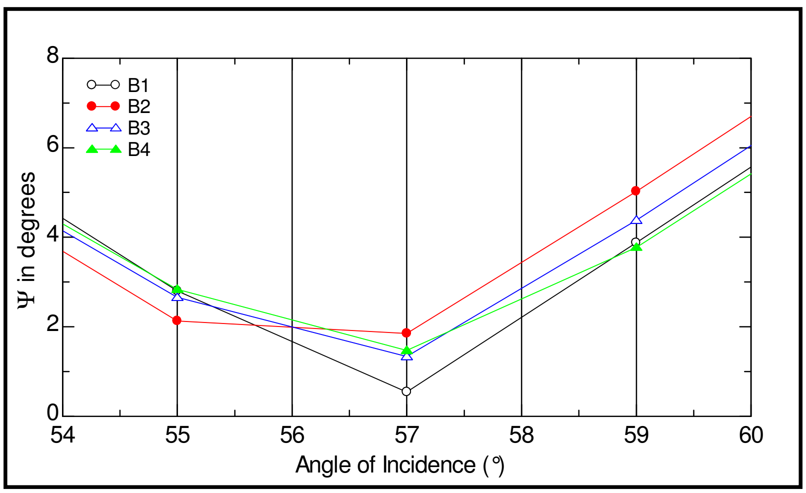
تتطلب تقنية مطيافية القطع الناقص للدراسة الخــصائص البــصرية تحديــد زوايــا بروســتر الافتراضية (Psudo Brewster Angle) لعينات الرسالة وذلك لاعتبارها عامل مساعد لتوجيه التحليل ومعرفة أفضل طريقة لتحديد زوايا السقوط عند كل طول موجي ثابت، فنستطيع تحديــد

قيمة تقريبية للزاوية بروستر برصدنا لتغير زوايا Δ,Ψ مع تغير زاوية السقوط للعينات الأغشية الرقيقة المكونة من PMMA المذابة في محاليل التولوين بتراكيز مختلفة الممثلة بـــالمجموعيتن (A, B) كما هو مبين في الجدول (3-3).



الشكل (4-9) يوضح قيم زوايا بروستر لعينات المجموعة A من منحنى Ψ عند الطول الموجي

λ =550 nm



الشكل (4-10) يبين قيم زوايا بروستر لعينات المجموعة B من منحنى Ψ عند الطول الموجي

λ=550 nm

نلاحظ من الأشكال (4-9) & (4-10) قيم زوايا بروستر الافتراضية لكلا المجموعتين العينـــات A وB التي تحدد بأخذ أقل قيمة Ψ من خلال منحنى Ψ، فنجد من الشكل (4-9) أن قيمة زاوية بروستر للمجموعة A تساوي تقريباً (57^o) وهي متساوية تقريباً لجميع عينات المجموعـــة A على الرغم من اختلاف التراكيز لهذه العينات.

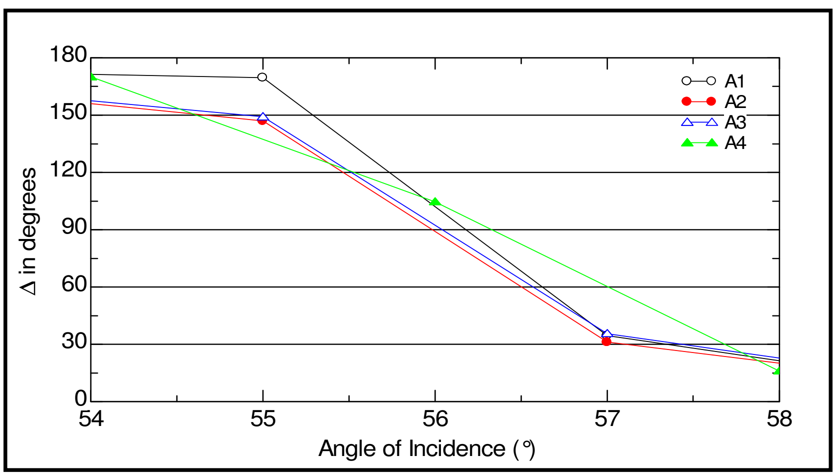
كما ونلاحظ من الشكل (4-10) أن زاوية بروستر الافتراضية للمجموعة B المحـــضرة علـــى سرعة دوران أعلى تساوي تقريباً للزاوية بروستر للمجموعة A ومساوية (57^o)، ويبين الجدول

(4- 1) العلاقة بين زوابة بروستر الافتراضية لمجموعة العينات (A, B) عن طول موجي λ = 550 nm

جدول (4-1) زوايا بروستر ومعاملات الانكسار لعينات الرسالة عن طول موجي λ= 550 nm

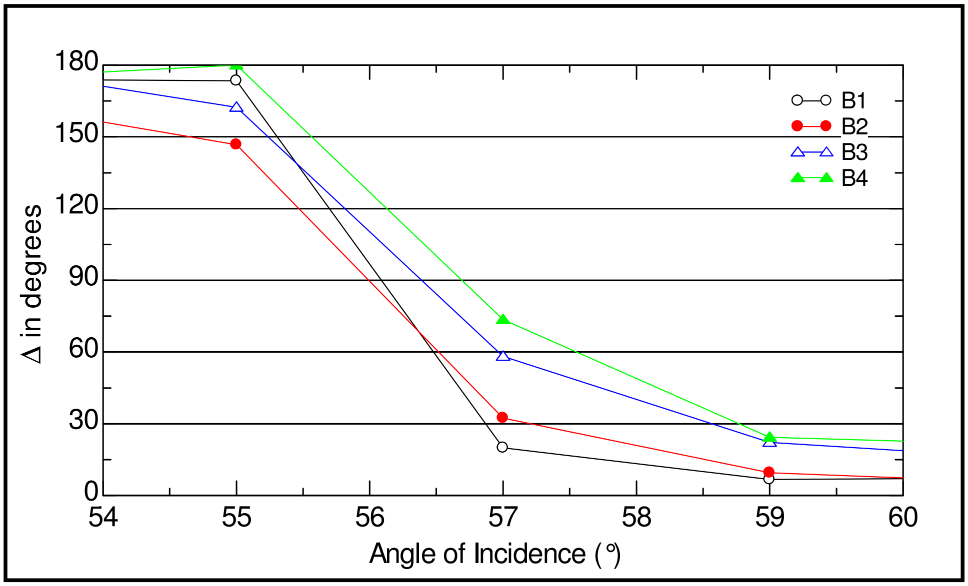
العينة	زاوية بروستر φ_B	معامل الانكسار $n = \tan \varphi_B$
A_1	57^o	1.539864
A_2	57^o	1.539864
A_3	57^o	1.539864
A_4	56^o	1.482560
B_1	57^o	1.539864
B_2	57^o	1.539864
B_3	57^o	1.539864
B_4	57^o	1.539864

وتبين الأشكال (4-11) & (4-12) قيم زوايا بروستر الافتراضية للمجموعتين A, B التي حددت بأخذ الزاوية المقابلة لقيمة $\Delta=90^o$ في منحنى Δ، فنجد من هذه الأشكال أن قيمة زوايا بروستر تقريباً مساوية (56) لكلا المجموعتين (A,B) ويوضح الجدول (4-2) العلاقة بين زوايا بروستر ومعاملات الانكسار عن طول موجي λ = 550 nm.



الشكل (4-11) يوضح قيم زوايا بروستر للمجموعة A من منحنى Δ عند الطول الموجي

λ=550 nm



الشكل (12-4) يوضح قيم زوايا بروستر لعينات المجموعة B من منحنى Δ عند طول موجي

λ=550 nm

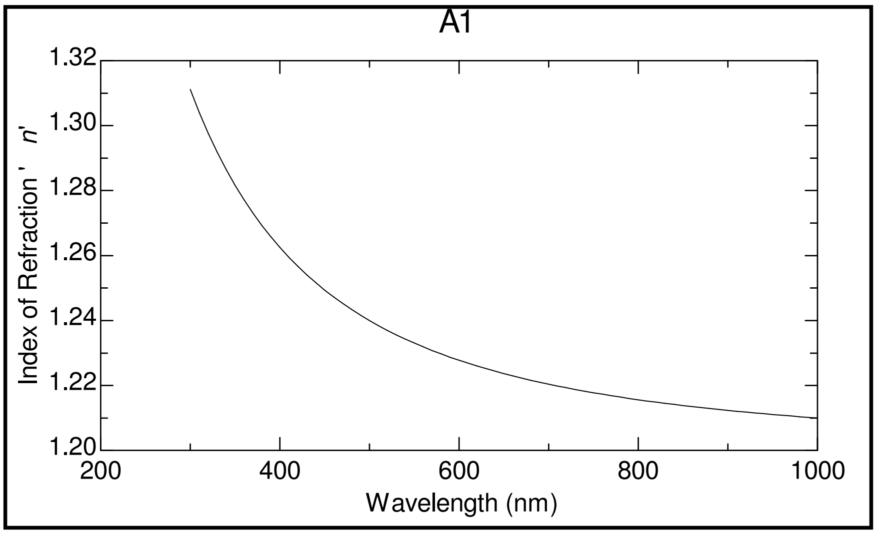
الجدول (2-4) زوايا بروستر ومعاملات الانكسار لعينات الرسالة عن طول موجي λ=550 nm

معامل الانكسار $n = \tan \varphi_B$	زاوية بروستر φ_B	العينة
1.493782	$^{o}56.2$	A_1
1.482560	$^{o}56.0$	A_2
1.483119	$^{o}56.01$	A_3
1.499436	$^{o}56.3$	A_4
1.493782	$^{o}56.2$	B_1
1.482560	$^{o}56.0$	B_2
1.505120	$^{o}56.4$	B_3
1.522354	$^{o}56.7$	B_4

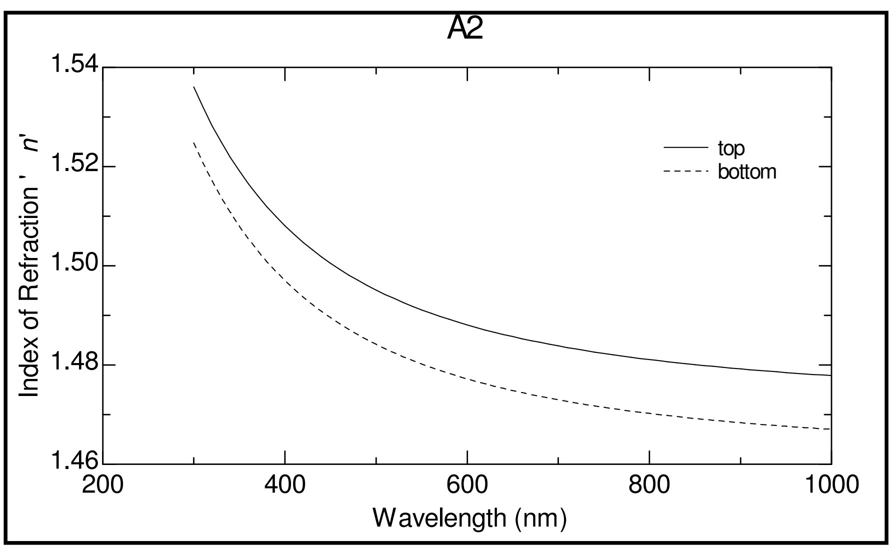
نجد أن زوايا بروستر لهذه الأغشية اتخذت قيم مساوية (56^o, 57^o) تقريباً، وبذلك من الممكن تحديد زوايا السقوط المتغيرة التي استخدمت أثناء إجراء القياسات البصرية مستخدماً هذه التقنية.

(3-3-4) المعاملات البصرية للمجموعات A & C:

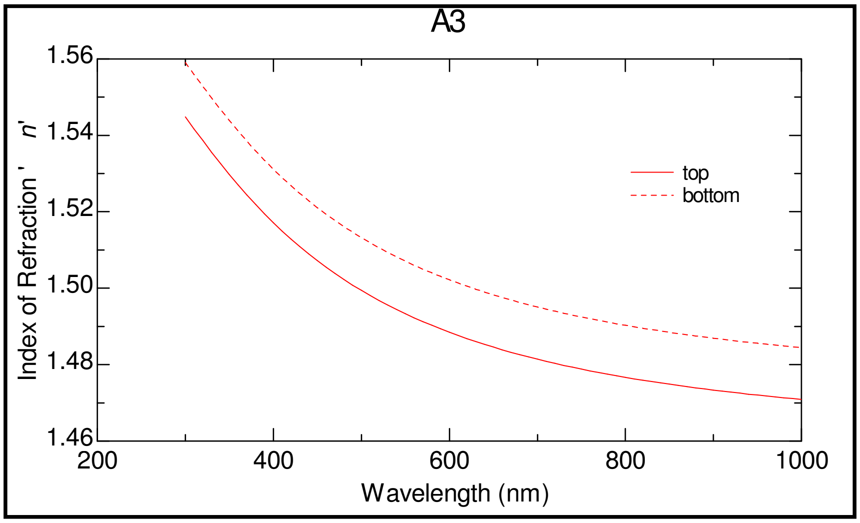
تبـــــــين الاشـــــــكال (4-13)، (4-14)، (4-15)، (4-16)، (4-17)، (4-18)، (4-19)، (4-20) معاملات الانكسار للمجموعتين C,A، وتجدر الاشارة إلى أن هاتان المجموعتان تتكون من العينات نفسها حيث تم أخذ القراءات للعينات قبل التسخين (المجموعة A) وبعـــد التـــسخين (المجموعة C).



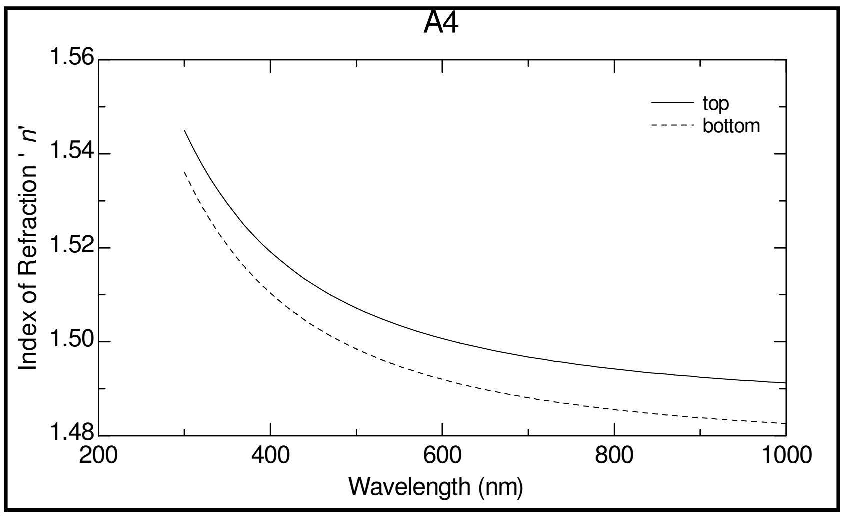
الشكل (4-13) يوضح العلاقة معامل الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة A_1



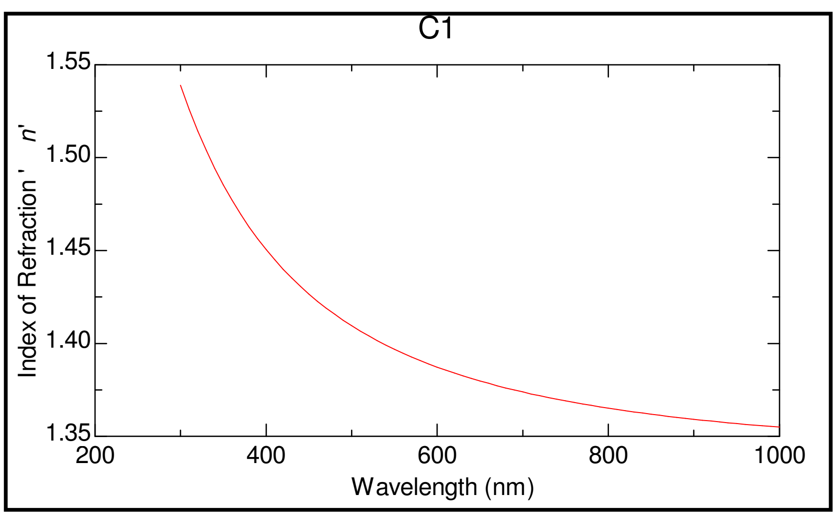
الشكل (4-14) يوضح العلاقة معامل الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة A_2



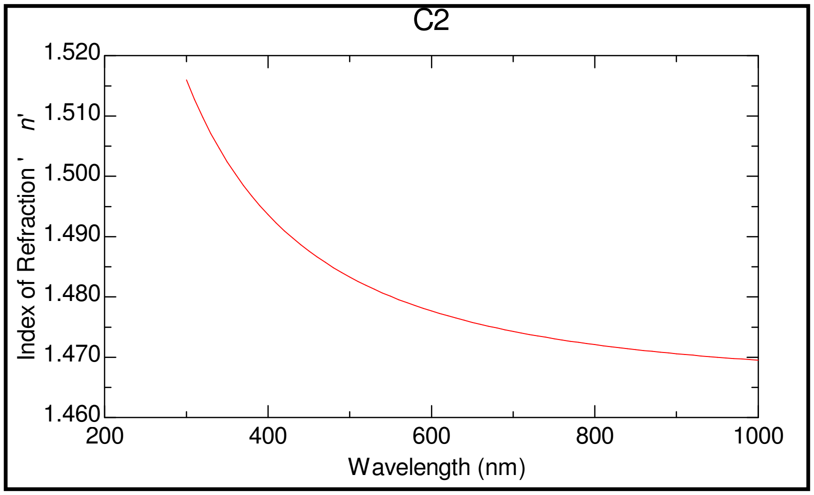
الشكل (4-15) يوضح العلاقة معامل الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة A_3



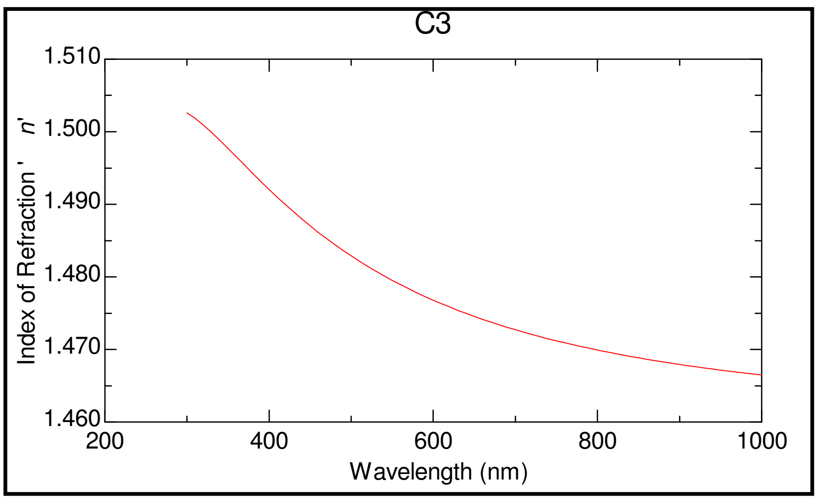
الشكل (4-16) يوضح العلاقة معامل الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة A_4



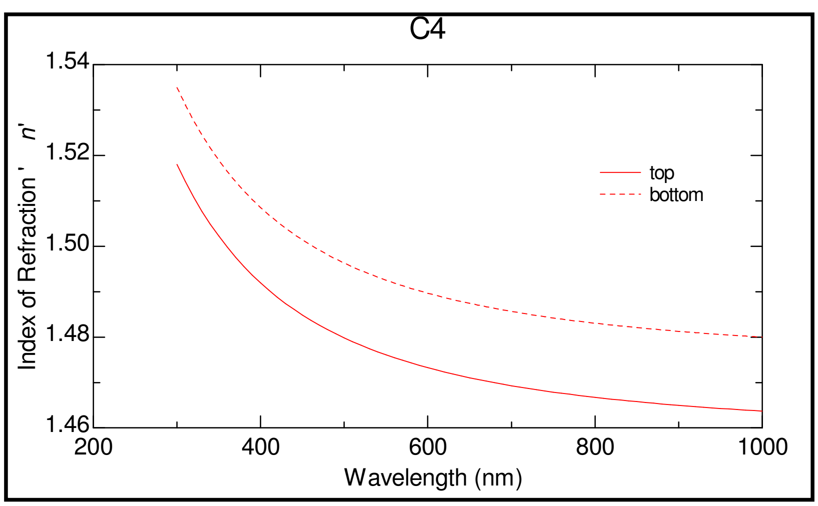
الشكل (4-17) يوضح العلاقة معامل الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة C_1



الشكل (4-18) يوضح العلاقة معامل الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة C_2



الشكل (4-19) يوضح العلاقة معامل الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة C_3



الشكل (4-20) يوضح العلاقة معامل الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة C_4

لقد تم بناء النماذج البصرية لهذه العينات اعتماداً على المعاملات البصرية لطبقة الزجاج الساندة وعلاقة كوشي للتشتت، حيث تم تحديد سمك الغشاء والمعاملات A,B,C كمعـــاملات متغيـــرة لاغراض المطابقة.

نلاحظ من الشكل (4-13) بان قيمة معامل الانكسار للعينة A_1 تتخذ قيمتها الأكبر عنـــد طـــول موجي 300 نانوميتر بواقع (1.50083) وتقل هذه القيمة كلما اتجهنا باتجاه الأطوال الموجيـــة الأكبر لتصبح قيمتها (1.49991) عند طول موجي 1000 نانوميتر، ويسلك معامل الانكـــسار لهذه العينة سلوك التشتت الطبيعي (Normal Dispersion).

إن نمذجة العينات A_2,A_3,A_4 لم تحقق أقل خطأ تربيعي MSE، إلا بعد افتـــراض بـــأن هـــذه العينات تعاني نوعا من عدم التجانس بين سطحها القريب من السطح العلوي للطبقـــة الـــساندة وسطحها الأمامي، وهذا الافتراض يمكن اخذه بعين الاعتبار في برمجية WVASE 32 وبالفعل فقد تم تحقيق مطابقة أفضل عند إجراء هذه الافتراض.

والأشكال (4-14)، (4-15)، (4-16) تبين الاختلاف في معامل الانكسار للمنطقتـــين المـــشار اليهما اعلاه للعينات A_2، A_3، A_4 على الترتيب، كما يلاحظ بأن هذه الأغشية الشفافة تمتلـــك خواصاً بصرية مماثلة لتلك الخواص التي يمتلكها الزجاج من حيث قيم معامل الانكسار وسلوك التشتت الطبيعي له في المدى الطيفي (300-400) نانوميتر.

الجدول (4-3) يبين قيم معامل الانكسار (***n***) عند أطوال موجية مختلفة على المدى الطيفي الذي تم تحليل العينات عليه، والجدول (4-4) يبين سمك العينات التي تم تحـــضيرها واثـــر درجـــة الحرارة على سمك الغشاء المحضر.

الجدول (4-3) معاملات الانكسار عند أطوال موجية مختلفة للمدى الطيفي للمجموعتين A,C

العينة	الطول الموجي (nm)							
	300	400	500	600	700	800	900	1000
A_1	1.3111	1.2625	1.24	1.2278	1.2204	1.2156	1.2133	1.21
A_2	1.53581	1.50808	1.49554	1.48832	1.48376	1.48111	1.47959	1.47769
	1.52517	1.4693	1.48643	1.47732	1.47276	1.46972	1.46781	1.46668
A_3	1.52796	1.5168	1.49858	1.46061	1.46147	1.46137	1.46098	1.46022
	1.54432	1.53049	1.51264	1.50276	1.49478	1.49061	1.48795	1.48528
A_4	1.54479	1.51858	1.50643	1.50111	1.49742	1.49428	1.49352	1.49085
	1.53528	1.51061	1.49883	1.49161	1.48857	1.48554	1.48402	1.48213
C_1	1.5389	1.4505	1.4096	1.3873	1.3739	1.3652	1.3593	1.355
C_2	1.5154	1.4936	1.4833	1.4777	1.4743	1.4721	1.4706	1.4695
C_3	1.5026	1.4921	1.4829	1.4768	1.4728	1.47	1.468	1.4665
C_4	1.51756	1.49137	1.47949	1.47313	1.46933	1.46706	1.46554	1.46365
	1.53429	1.50808	1.49669	1.48985	1.48491	1.48263	1.48035	1.47959

الجدول (4-4) يبين سمك العينات للمجموعتين A, C

العينة	السمك (nm)	العينة	السمك (nm)
A_1	5.157 ± 0.814	C_1	0.00 ± 0.00
A_2	352.432 ± 0.982	C_2	387.193 ± 1.85
A_3	1672.732 ± 4.77	C_3	1571.959 ± 2.18
A_4	7190.392 ± 6.84	C_4	6560.992 ± 4.025

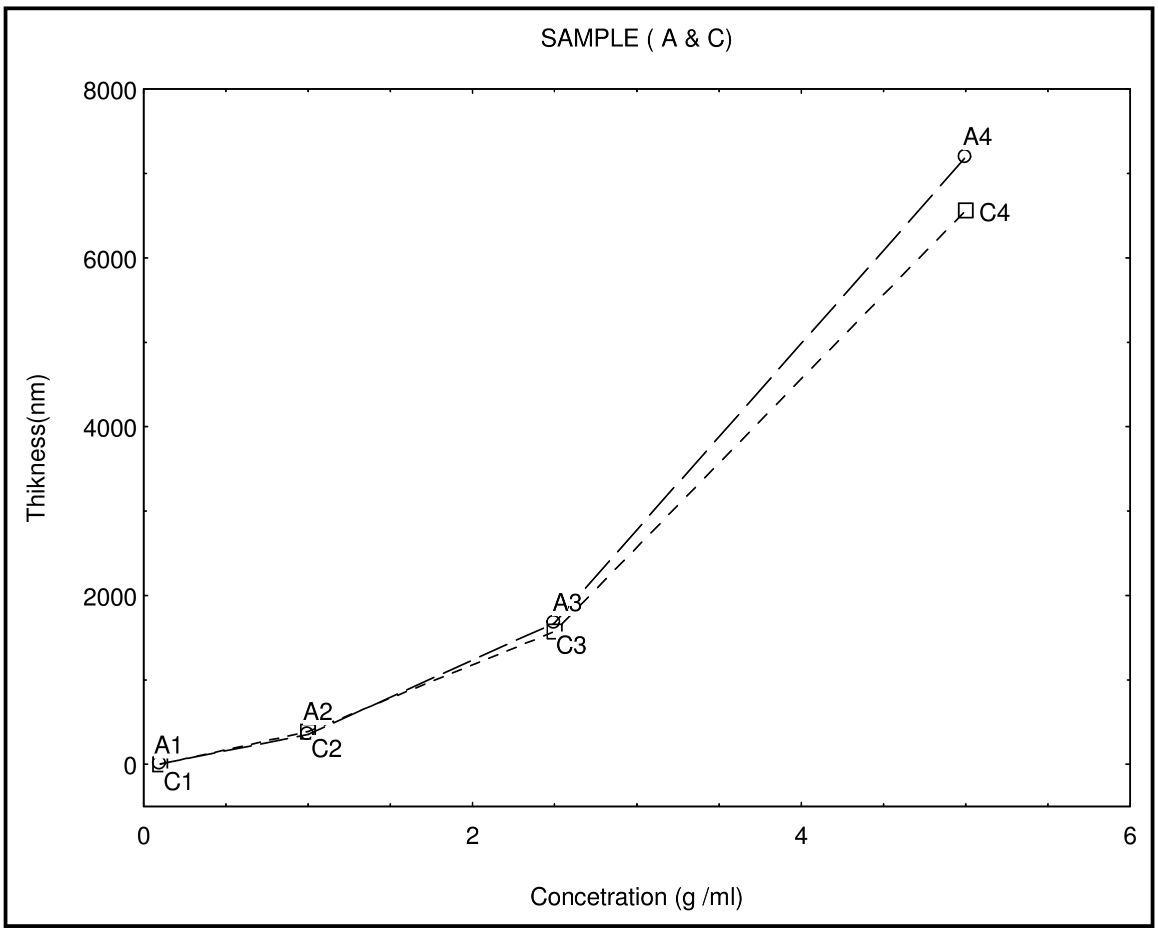
من خلال الجدول (4-4) لا يمكن إعطاء تصور كافي لوجود علاقة بين السمك واثر الحرارة عليها، إلا إننا نستطيع من خلال المقارنة الموضحة بالجدول (4-5) بين النماذج البصرية اللازمة الإجراء المطابقة للأغشية ألمجموعتي A,C ،حيث نلاحظ من هذا الجدول أن الأغشية الرقيقة في المجموعة C أصبحت أكثر تجانسا من الأغشية الرقيقة في المجموعة A وذلك بتخلصها من التدرجات التي ظهرت في العينات (A_3,A_2) في حين لم تختفي هذه التدرجات في العينة (A_4) وذلك لتركيزها العالي، كما نرى تلاشي الغشاء الرقيق في العينة (C_1) ذات التركيز

القليل، مع ظهور بعض الخشونة في العينات (C_4,C_3,C_2,C_1) فوق الطبقة الزجاج الـــساندة أو فوق طبقة كوشي التي تمثل الأغشية الرقيقة.

الجدول (4-5) يبين النماذج البصرية لعينات المجموعات A, C

MSE = 10.67 A_1 1 Cauchy 5.157 nm 0 Glass Substrate 1mm	**MSE = 5.06** C_1 2 Cauchy 0.000 nm Interface 24.220nm 0 Glass Slide 1mm
MSE = 8,609 A_2 2 Simple Graded (Cauchy) 352.432 nm 1 Cauchy 0.00 nm 0 Glass Substrate 1mm	**MSE = 7.584** C_2 3 Srough 2.886 nm 2 Cauchy 387.193nm Interface 40.344nm 0 Glass Slide 1mm
MSE = 9.62 A_3 2 Simple Graded (Cauchy) 1672.732 nm 1 Cauchy 0.00 nm 0 Glass Substrate 1mm	**MSE = 6.596** C_3 3 Srough 5.303 nm 2 Cauchy 1571.959nm Interface 54.695nm 0 Glass Slide 1mm
MSE = 11.28 A_4 2 Simple Graded (Cauchy) 7190.392 nm 1 Cauchy 0.00 nm 0 Glass Substrate 1mm	**MSE = 10.63** C_4 3 Srough 0.780 nm 2 Simple Graded (Cauchy) 6560.992nm 1 Cauchy 0.000nm 0 Glass Slide 1mm

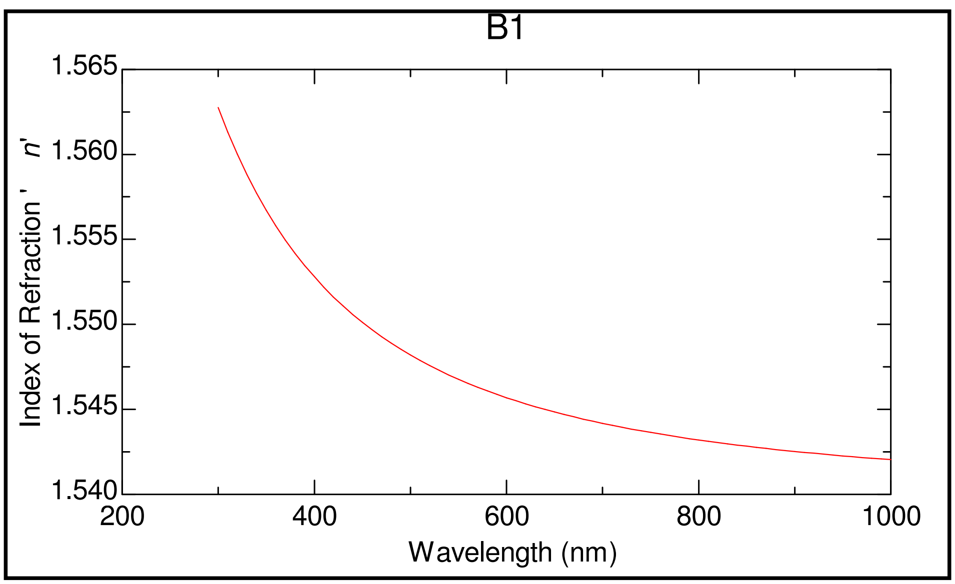
ويبين الشكل (4-21) اعتماد سمك الغشاء على تركيز البوليمر PMMA نسبة الى المذيب، ويلاحظ من هذا الشكل أن سمك الغشاء يزداد بازدياد التركيز لكلا المجموعتين A&C ويعزى هذا السلوك الى بقاء كمية أكبر من البوليمر في العينة ذات التركيز الاعلى بعد تطاير المذيب نتيجة لعملية الطلي بالبرم.



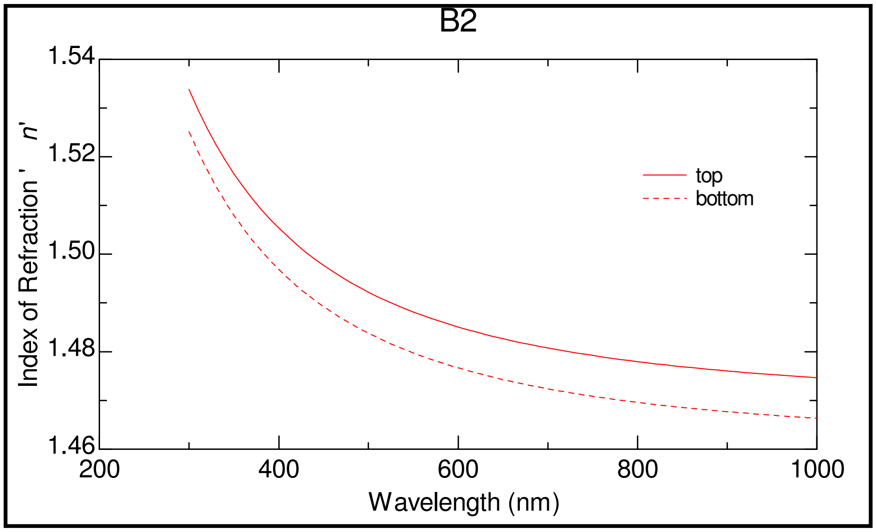
الشكل (4-21) العلاقة بين السمك والتركيز للمجموعتين A, C

(4-3-4) المعاملات البصرية المجموعة B, D:

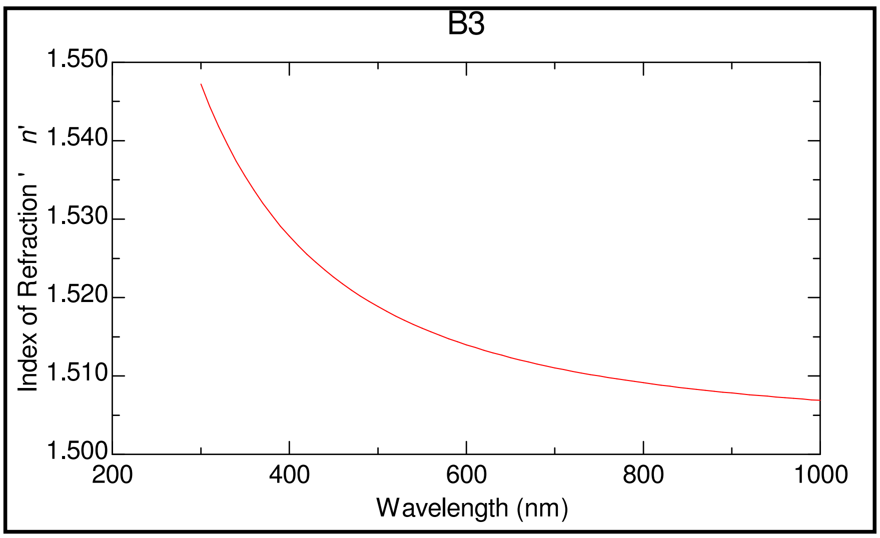
توضح الاشـــكال (4-22)، (4-23)، (4-24)، (4-25)، (4-26)، (4-27)، (4-28)، (4-29) معاملات الانكسار للمجموعتين B,D المكونة من عينات ذات تراكيـــز واحـــدة، حيـــث تمثـــل (المجموعة D) المجموعة A بعد التسخين، علماً بأن المجموعة B حضرت على سرعة دوران أعلى من المجموعة A، وبناء على ذلك تكون قيم معاملات الانكسار الموضحة بالجدول (4-4) الناتجة عن بناء النماذج البصرية محاكية لعينات المجموعة متبعا المنهجية التي تم استخدامها في دراسة المعاملات البصرية للمجموعة A,C ومستخدماً علاقة كوشي للتشتت ذات قـــيم أعلـــى، حيث نلاحظ من الشكل (4-22) أن قيمة معامل الانكسار للعينة B_1 يتناقص تـــدريجياً بزيـــادة الأطوال الموجية وهذا السلوك للعينة مشابه للسلوك التشتت الطبيعي (Normal Dispersion)، أما بالنسبة إلى العينات B_2,B_3,B_4 فإنها تمتلك خواص بصرية مماثلة للزجاج من حيث معامل الانكساروالتشتت الطبيعي في المدى الطيفي المحصور بين (300-400) نانوميتر وذلك واضحا من خلال النظر إلى الأشكال (4-23)،(4-24)،(4-25).



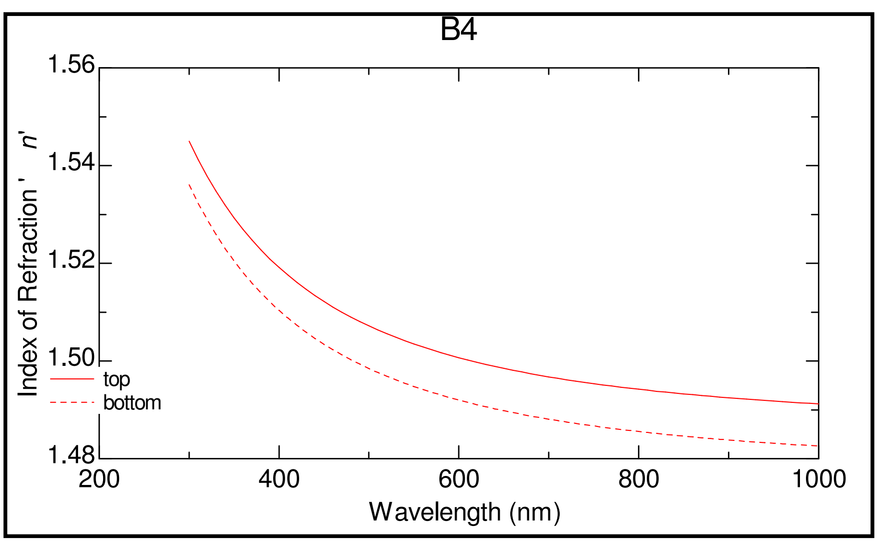
الشكل (4-22) يوضح معاملات الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة B_1



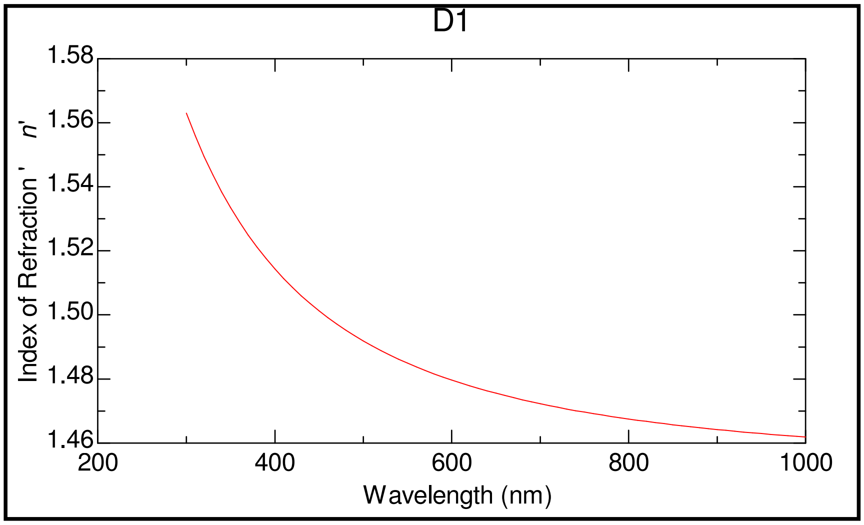
الشكل (4-23) يوضح معاملات الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة B_2



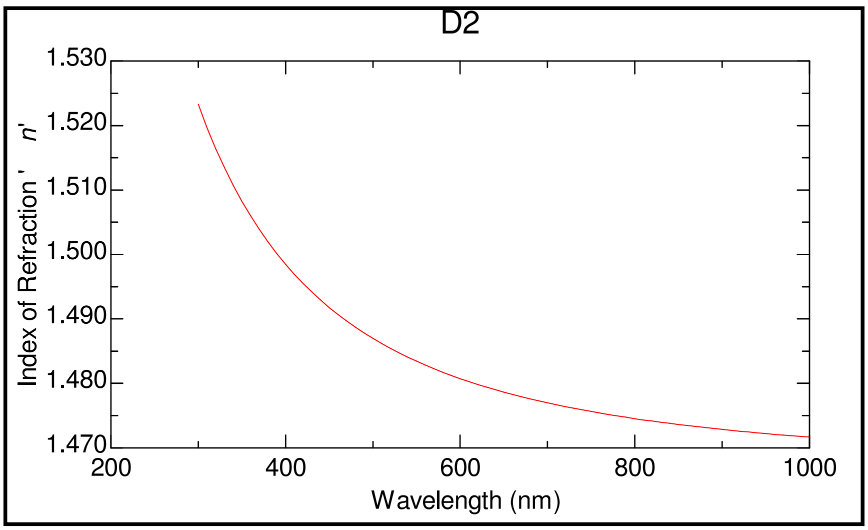
الشكل (4-24) يوضح معاملات الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة B_3



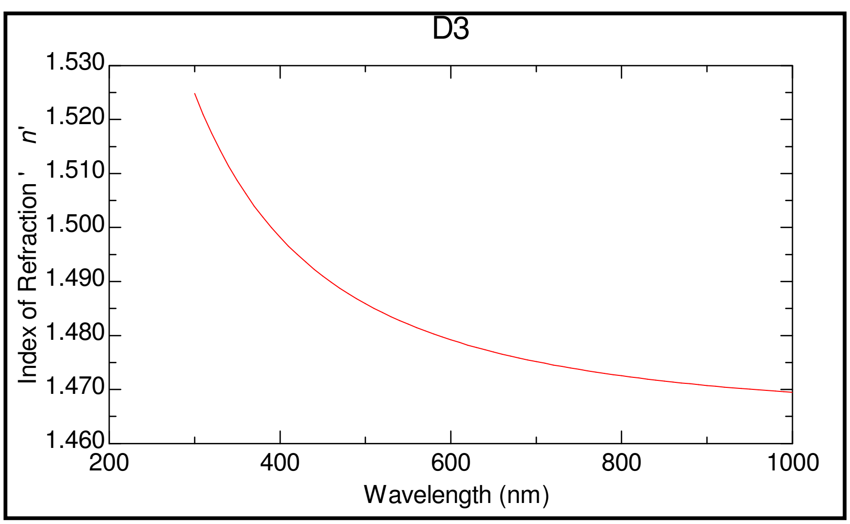
الشكل (4-25) يوضح معاملات الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة B_4



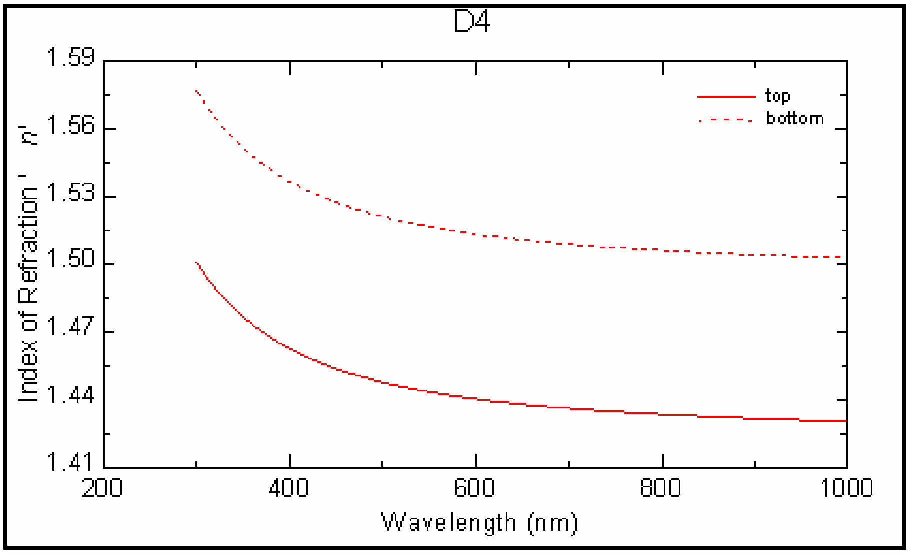
الشكل (4-26) يوضح معاملات الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة D_1



الشكل (4-27) يوضح معاملات الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة D_2



الشكل (4-28) يوضح معاملات الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة D_3



الشكل (4-29) يوضح معاملات الانكسار بدلالة الطول الموجي للعينة D_4

الجدول (4-6) يبين قيم معاملات الانكسار على المدى الطيفي للمجموعتين B, D

العينـــة	الطول الموجي (nm)							
	300	400	500	600	700	800	900	1000
B_1	1.5628	1.5528	1.5482	1.5457	1.5442	1.5432	1.5425	1.542
B_2	1.53353 1.52442	1.50504 1.49669	1.49289 1.48334	1.48491 1.47656	1.48111 1.47276	1.47845 1.47009	1.47541 1.46781	1.47541 1.46668
B_3	1.5472	1.5278	1.5189	1.514	1.511	1.5091	1.5078	1.5069
B_4	1.54479 1.53528	1.51821 1.51061	1.50682 1.49803	1.50111 1.49237	1.49693 1.48822	1.49131 1.48592	1.49276 1.48478	1.49237 1.48213
D_1	1.563	1.5144	1.4919	1.4797	1.4723	1.4675	1.4642	1.4619
D_2	1.5234	1.4985	1.487	1.4808	1.477	1.4746	1.4729	1.4717
D_3	1.5248	1.4982	1.4859	1.4792	1.4752	1.4726	1.4708	1.4695
D_4	1.50932 1.57627	1.43694 1.53751	1.44383 1.52243	1.44042 1.51456	1.43603 1.50856	1.43271 1.50534	1.43017 1.50451	1.42929 1.50364

الجدول (4-7) يبين سمك العينات للمجموعة B واثر درجة الحرارة عليها والممثل بالمجموعة D

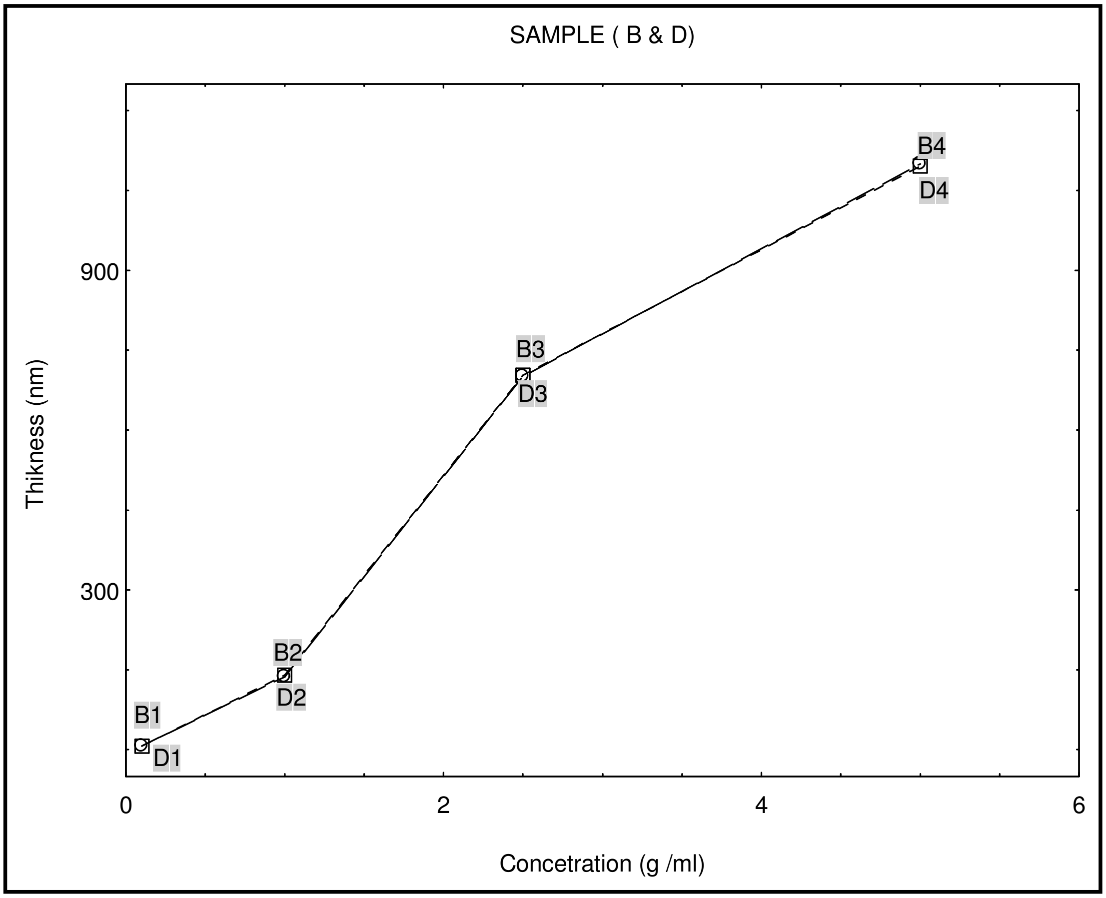
العينة	السمك (nm)	العينة	السمك (nm)
B_1	7.129 ± 0.321	D_1	7.018 ± 0.420
B_2	137.101 ± 4.03	D_2	140.281 ± 5.00
B_3	700.832 ± 8.05	D_3	703 ± 6.32
B_4	1100.010 ± 11.04	D_4	1095.710 ± 13.04

ومن خلال مقارنة السمك للعينات B, D وإضافة هذه المقارنة إلى نتائج الجدول (4-2) نجد أن لايمكننا إعطاء أي تصور بأن الحرارة لها دور في تقليل سمك هذه الأغشية الرقيقة وذلك لان مجموعة العينات A,B سخنت على درجة حرارة واحدة ألا وهي 140^o، وإنما لها دور في تغيير تركيبة هذه الأغشية الرقيقة بإضافة بعض الصفات كتخلصها من التدرجات التي لها دور في إحداث العديد من الانعكاسات عنها، وجعلها أكثر تجانساً، وإضافة الخشونة لكل من طبقة الزجاج الساندة وطبقة كوشي (Cauchy) وذلك موضح من خلال النظر إلى الجدول (4-8).

الجدول (4-8) يبين النماذج البصرية للمجموعتين B, D

MSE = 13.35 B_1 1 Cauchy 7.129 nm 0 Glass Substrate 1mm	MSE = 12.16 D_1 1 Cauchy 7.018 nm 0 Glass Substrate 1mm
MSE = 8.63 B_2 2 Simple Graded (Cauchy) 137.101 nm 1 Cauchy 0.000nm 0 Glass Substrate 1mm	MSE = 10.5 D_2 1 Cauchy 140.281 nm 0 Glass Substrate 1mm
MSE = 6.58 B_3 2 Srough 18.33 1 Cauchy 700.832 nm 0 Glass Substrate 1mm	MSE = 10.36 D_3 2 Srough 9.853 nm 1 Cauchy 703 nm 0 Glass Substrate 1mm
MSE = 4.87 B_4 2simple Graded (Cauchy) 1100.010nm 1 Cauchy 0.000nm 0 Glass Substrate 1mm	MSE = 10.17 D_4 2simple Graded (Cauchy) 1095.715nm 1 Cauchy 0.000nm 0 Glass Substrate 1mm

ويوضح الشكل (4-30) العلاقة بين سمك الأغشية الرقيقة للعينات المجموعة B,D وتركيز البوليمر PMMA نسبة للمذيب، حيث نلاحظ زيادة السمك لهذه الأغشية الرقيقة لكلا المجموعتين مع زيادة التركيز لهذه العينات.



الشكل (4-30) العلاقة بين السمك والتركيز للمجموعتين B, D

(4-4) الاستنتاجات:

حققت هذه الرسالة جملة من النتائج المتعلقة بخصائص الأغشية الرقيقة المحضرة من بـــوليمر (PMMA) والتي يمكن إيجازها بما يلي:

1- تم تحري الخصائص السطحية باستخدام تقنية المجهر الماسح الالكتروني (SEM)، وتبـــين وجود درجة جيدة نسبياً من التجانس ووجود تقارب بين التحليل الناتج عن جهاز مطيافية القطع الناقص وجهاز المجهر الماسح الالكتروني.

2- تم تحري الامتصاصية والنفاذية للمحاليل المحضرة وبيان قيم الامتصاص والنفاذية والتفاوت بينها اعتمادا على اختلاف تراكيز البوليمر في المذيب.

3 – تم بناء نماذج بصرية للأغشية المحضرة مبنية على اســتخدام نمــوذج كوشـــي للتــشتت (Cauchy) ونموذج متدرج كوشي البــسيط (Simple Graded Cauchy) لغايــات وصـــف معامل الانكسار على أطوال موجية مختلفة.

4- تم دراسة أثر تسخين الأغشية الرقيقة المحضرة حيث لوحظ تغيراً في تركيب هذه الأغشية متعلقاً بتغير البنية السطحية لبعض العينات، مع ظهور الخشونة (Roughness) علـــى طبقـــة الزجاج الساندة للعينات أو فوق طبقة كوشي (Cauchy) الممثلة للغشاء الرقيق.

References

1- Aranda , J.L.Morenza, JEsteve and J.M.Codina , **Thin Solid Films ,** (1984) pp 23-130

2- AL-Attar Hameed, Osama Taqatqa, **"A New Highly Photorefractive Polymer Composite For Optical Data Storage Application"** , J. Of Optics : Pure and Applied Optics 5 (2003) PP S 487-S 492.

3- AL-Attar Hameed , Osama Taqatqa, **"Spectroscopic Ellipsometry Investigation Of Azo Dye and Azo Dye Doped Polymer "** , EPJAP J.Of Phsical : Applied Physics , V.129,N.37,2006,pp 61-64.

4- Azzam, R.M.and Bashara , N .M . **Ellipsometry and Polarized Light** , First Edition Amsterdam : North – Holland Physics Publishing , (1986)

5- Brady J. E. . **General Chemistry : principles and structure** . Fifth edition , John Wiley & sons , NY (1999) .

6- Christopher B.Walsh , "**Effect Of Processing Conditions On The Quality ,Stability and Permeability Of Thin Organic Films** " Ph .D. Thesis, Purdue University , West Lafayette,IN, 1999

7- Christopher B. Walsh , Elias I, **"Ultrathin PMMA Films Spin – Coated From Toluene Solutions"** ,Thin Solid Films 429 (2003) PP 71-74.

8- Husam , M. El-Nasser,Khader, T., Ali . B., **" Spectroscopic Ellipsometry Of Azo Dye Doped Polymer Thin Films",** Dirasat, (University Of Jordan),V.33,N.2, Basic Sciences, August, 2006.

9- Harland G.,And Eugene A.,**Hand book Of Ellipsometry** , First Edition,Publishing William Andrew ,2005

10- Jurgen R. , **Introduction to Classical and Modern Optics** , Second Edition , Prentice-hall , NJ , 1984 .

11- Pedrotti F. , Leon Pedrotti , **Introduction to optics** , Second Edition , Prentice Hall , NJ (1993) .

12- Woollam, J.A. .**Variable of Incidence Spectroscopic Ellipsometry**, Hardware Manual, Lincoln NE, USA , 1996 .

13- Guenther, R.D. **Modern Optics**, John Wiely and Sons , NY, (1990).

14- Kunz G.A.Niklasson And C.G.Granqvist , J.Apple .Phys, 64 (1988).

15- Jackson, J.D. , **Classical Electrodynamics**. (3rd ed). John Wiely and Sons , NY , (1998).

16- Woollam, J.A . **Guide to Using WVASE 32** . Lincoln NE , USA , 1996 .

المراجع باللغة العربية

١- الابراهيم، محمد أنور علي ، **دراسة الخصائص البصرية لأغشية رقيقة من خليط PMMA واليود باستخدام مطيافية القطع الناقص**، رسالة ماجستير(غير منشورة)، جامعة آل البيت، الأردن، 2006م.

٢- النور، عمر احمد محمد ، **الخصائص البصرية لخليط مكون من البولي ميثيل ميثاكريليت وبادئ الضوئي وصبغة الازو باستخدام مطيافية القطع الناقص** ، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة آل البيت ، الأردن ، 2007 م.

٣- بصبوص، حنان علي فلاح ، **الخواص البصرية لنظام مكون من صبغة الازو (Azo-Dye) والبادىء الضوئي (BDK) وتطبيقاته كوسط بصري للتخزين**، رسالة ماجستير (غير منشورة)،جامعة آل البيت، الأردن، 2004 م.

٤- عبد الرحمن، أسامة عبد اللطيف ، **دراسة الخواص البصرية لأغشية رقيقة من المبلمرات المشوبة باصباغ الازو باستخدام مطيافية القطع الناقص وتطبيقاته كوسط بصري للتخزين**، رسالة ماجستير(غير منشورة)، جامعة آل البيت، الأردن، 2002م.

٥- عبدالله المولى، طه خضر ، **الخصائص البصرية لأنظمة الخزن البصرية PMMA/BDK/Azo-Dye باستخدام مطيافية القطع الناقص** ، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة آل البيت، الأردن، 2005م.

ABSTRACT

This study discusses the optical properties as of adopting the refractive index on the wavelength of thin films consisting of polymethyl methacrylate polymer diluted in toulene with various concentration rates by using Variable Angle Spectroscopic Ellipsometry (VASE). It also discusses adopting thin film structure prepared on these concentrations after being heated to 140°.

The study shows that the thickness of the prepared films increase with approximately similar regularity for all samples with the increase of polymer ratio in the solvent, and shows that Brewster's Angles for the prepared films are approximately similar in all samples at the wavelength (550nm), while we find change in these angles when expressing them through ellipsometry parameters (Δ), as this parameter is correlated with the change of the phase. This reflects the extent of accuracy and sensitivity of VASE in measuring compared with other Spectroscopic methods.

The study also shows that thicker films are subject to graded layer that make the reflective index, at the glass substrate area, relatively different than the reflective index at the top surface of the film. This graded layer is subject to change, as a result of heating the samples to 140°.